



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISIS KINERJA POMPA LPG
PADA TERMINAL LPG SEMARANG
BERDASARKAN VARIASI KECEPATAN DAN
KONFIGURASI**

MUHAMMAD ABDUL ROKIM
NRP. 4212 100 067

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME 141501

**LPG PUMP PERFORMANCE ANALYSIS
ON SEMARANG LPG TERMINAL
BASED ON VARIATION OF SPEED AND
CONFIGURATION**

MUHAMMAD ABDUL ROKIM
NRP. 4212 100 067

Supervisors
Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA POMPA LPG PADA TERMINAL LPG SEMARANG BERDASARKAN VARIASI KECEPATAN DAN KONFIGURASI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMMAD ABDUL ROKIM
NRP 4212 100 067

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

1. Sutopo Purwono Fitri, ST, M. Eng., Ph. D.
NIP. 19751006 200212 1 003
2. Ir. Tony Bambang Musriadi, PGD
NIP. 19590410 198701 1 001



(V)

SURABAYA
JULI, 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA POMPA LPG PADA TERMINAL LPG SEMARANG BERDASARKAN VARIASI KECEPATAN DAN KONFIGURASI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMMAD ABDUL ROKIM
NRP 4212 100 067

Disetujui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST, MT
NIP. 19770802 200801 1 007



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

Pada laporan skripsi yang saya tulis ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan – kegiatan penelitian lanjut pengembangannya.

Nama : Muhammad Abdul Rokim
NRP : 4212 100 067
Judul Skripsi : *Analisis Kinerja Pompa LPG pada Terminal LPG Semarang Berdasarkan Variasi Kecepatan dan Konfigurasi.*
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 27 Juli 2016

Muhammad Abdul Rokim

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS KINERJA POMPA LPG PADA TERMINAL LPG SEMARANG BERDASARKAN VARIASI KECEPATAN DAN KONFIGURASI

Nama Mahasiswa : Muhammad Abdul Rokim
NRP : 4212100067
Dosen Pembimbing : 1. Sutopo Purwono Fitri, Ph. D
2. Ir. Tony Bambang M., PGD

Abstrak

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang saat ini semakin banyak digunakan. Distribusi LPG memiliki model rantai pasok yang kompleks, mulai dari *offshore platform*, tanker LPG, terminal LPG, SPBBE hingga *end user*, yang masing – masing memiliki peran krusial. Pada terminal LPG, pompa LPG yang menyalurkan LPG dari *storage tank* ke truk tangki memegang peran yang sangat penting guna menjamin kelancaran pasokan LPG. Sehingga pompa harus dioperasikan pada titik paling optimum. Tugas akhir ini menyajikan analisis terhadap performa pompa LPG di Terminal LPG Semarang, khususnya sistem penyaluran LPG, untuk mendapatkan konfigurasi dan kecepatan operasional pompa yang dapat menghasilkan performa paling optimum. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB dengan cara mem-*plot*-kan persamaan kurva pompa dan kurva sistem. Oleh karena itu terlebih dahulu harus mendapatkan persamaan kurva - kurva pompa pada seluruh tingkat kecepatan dan semua jumlah pompa, yaitu paralel 2, 3, dan 4 pompa. Sedangkan kurva sistem diperoleh berdasarkan pemodelan pada *software Pipe Flow Expert*. Berdasarkan hasil *plotting* kurva – kurva tersebut, diperoleh titik kerja setiap paralel pompa, yaitu diperoleh nilai debit total, *head*, serta debit, efisiensi dan *power input* masing – masing pompa.

Selain itu, debit dari setiap konfigurasi harus memenuhi beberapa batasan, yaitu debit maksimum *Truck Loading Arm*, batas debit sesuai *operating manual*, dan rekomendasi API 610. Hasil akhir analisis menunjukkan bahwa konfigurasi 3 pompa pada kecepatan putaran 100 % menghasilkan debit paling tinggi pada semua level tangki dan memenuhi batasan yang disyaratkan, yaitu total 344,2 m³/h pada level tangki 19 m, 337,3 m³/h pada level 12 m, dan 330,8 m³/h pada level 5 m.

Kata kunci: konfigurasi pompa, LPG, pompa paralel, terminal LPG, *variable speed pump*

**LPG PUMP PERFORMANCE ANALYSIS
ON SEMARANG LPG TERMINAL
BASED ON VARIATION OF SPEED AND
CONFIGURATION**

Name : Muhammad Abdul Rokim
NRP : 4212100067
Supervisors : 1. Sutopo Purwono Fitri, Ph. D
2. Ir. Tony Bambang M., PGD

Abstract

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is one of the alternative fuel are now more widely used. LPG distribution has a complex supply chain models, ranging from the offshore platform, LPG tanker, LPG terminal, LPG Station to the end user, each has a crucial role. At LPG terminal, LPG pumps that transfer LPG from the storage tanks to tanker holds / skid tanks a very important point to ensure the smoothness of LPG supply. So that the pump should be operated at the optimum point. This thesis presents performance analysis of the LPG pump at Semarang LPG Terminal, especially LPG transfer system, to get the best configuration and operational speed pumps that can produce the most optimum performance. Analyses were performed using MATLAB software by plotting both of the equation of the pump curve and system curve. Therefore, it must first obtain equations of the pump curves at all of speed levels and the number of pumps, namely parallel 2, 3, and 4 pumps. While the system curve is obtained by modeling on the Pipe Flow Expert software. Based on the results of curves plotting, obtained the working point of each parallel konfiguration, the values obtained total discharge, head, as well as debit, efficiency and power input of each pump. In addition, the discharge of any configuration must meet several limitations, namely the maximum discharge of Truck Loading

Arm, appropriate discharge limits operating manual and the recommendations of API 610. The final results of analysis showed that the configuration of the 3 pumps at rotational speed of 100 % will produce the highest discharge at all levels of the tank and meet the limitation are required, that's a total of 344.2 m³/h at the level of the tank is 19 m, 337.3 m³/h at the level of 12 m, and 330.8 m³/h at the level of 5 m.

Keywords: *LPG, pump configuration, parallel pump, LPG terminal, variable speed pump*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil alamin, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Ilahi Rabbi atas berkah, nikmat dan kuasa-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kinerja Pompa LPG pada Terminal PLG Semarang Berdasarkan Variasi Kecepatan dan Konfigurasi” Ini dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih atas semua bantuan yang diberikan oleh pihak-pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayahnya, serta kelancaran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu.
2. Kedua orang tua yaitu Ayah dan Ibu atas dukungan dan doa yang telah diberikan selama menjalani perkuliahan sampai Tugas Akhir.
3. Hesty Ristiani Putri yang telah memberikan dukungan luar biasa atas terselesainya Tugas Akhir penulis, baik support dalam positif maupun membuat ricuh suasana :’D
4. Bapak Dr. Eng. Muh. Badrus Zaman, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
5. Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.d dan Bapak Ir. Tony Bambang Musriadi, PGD selaku dosen pembimbing. Terima kasih banyak atas ilmu, bimbingan dan koreksi selama penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak AAB Dinariyana DP, ST, MES, Ph.d selaku dosen wali yang selalu memberikan dorongan semangat kepada penulis dalam mengikuti perkuliahan.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan atas semua bimbingan dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
8. Pihak Terminal LPG Semarang, yang telah memberikan bantuan dalam perolehan data Tugas Akhir.

9. Keluarga besar Office EPC, terkhusus kepada Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, terima kasih banyak atas kesempatan yang diberikan serta atas nasihat dan wejangan yang sangat menginspirasi. Terima kasih Pak Fuad, Mas Hadi, Mas Indra, Gigih, Bayu, Chory, dan adik – adik officer, yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
10. Teman – teman pejuang TA Lab. MMS yang banyak sekali membantu dan terima kasih atas kerja samanya.
11. Keluarga besar BISMARCK'12 terima kasih kenangannya selama empat tahun ini, sukses semua rek, Matur nuwun semua semangat yang diberikan...
12. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas semua bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran akan sangat berarti bagi penulis. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penulisan.....	5
1.5. Manfaat Tugas Akhir	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Karakteristik pompa sentrifugal.....	7
2.1.1. Putaran Spesifik (n_s / n_q).....	7
2.1.2. <i>Total Head Pump</i> / Energi Spesifik	9
2.1.3. Kebutuhan Daya Pompa.....	9
2.1.4. Rugi – rugi Pompa	10
2.1.5. Efisiensi Pompa.....	11
2.2. Pengaturan Pompa Sentrifugal.....	12
2.2.1. <i>Speed Control</i>	12
2.2.2. Pompa Seri	14

2.2.3.	Pompa Paralel	14
2.3.	Penentuan Titik Operasi Pompa Kombinasi	15
2.4.	<i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>	16
2.4.1.	Karakteristik.....	16
2.4.2.	<i>Working Pressure</i>	17
2.4.3.	<i>Boil-off Gas</i>	17
2.4.4.	BLEVE.....	18
2.4.5.	<i>Physical Properties</i>	19
2.5.	<i>Supply chain</i> LPG	21
2.6.	Software Pendukung	23
2.6.1.	MATLAB.....	23
2.6.2.	<i>Pipe Flow Expert</i>	24
2.7.	Penelitian Terdahulu	25
2.8.	Koreksi Performa Pompa - <i>Hydraulic Institute</i>	26
BAB III METODOLOGI		31
3.1.	Perumusan Masalah	31
3.2.	Studi Literatur	31
3.3.	Pengumpulan Data	31
3.4.	Koreksi Kinerja Pompa.....	31
3.5.	<i>Analisis System Head</i>	32
3.6.	Pemodelan MATLAB.....	32
3.7.	Analisis Hasil	33
3.8.	Kesimpulan	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1.	Gambaran Umum.....	35

4.2.	Kondisi Eksisting / Data	35
4.2.1.	Pompa LPG	35
4.2.2.	LPG Storage Tank.....	36
4.2.3.	Pipa Penyaluran LPG	37
4.2.4.	Spesifikasi LPG.....	38
4.2.5.	Operasional Penyaluran LPG.....	39
4.3.	Koreksi Performa Pompa	39
4.4.	Menghitung <i>Head</i> Sistem Penyaluran LPG	40
4.5.	Menentukan Kurva Sistem & Kurva Pompa.....	50
4.5.1.	Kurva Sistem.....	50
4.5.2.	Kurva Pompa	51
4.6.	Pemodelan MATLAB	56
4.6.1.	<i>Plotting 1</i>	57
4.6.2.	<i>Plotting 2</i>	58
4.6.3.	<i>Plotting 3</i>	59
4.7.	Analisis Hasil Pemodelan	66
4.7.1.	Analisis Efisiensi.....	67
4.7.2.	Analisis Operasional	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		75
5.1.	Kesimpulan	75
5.2.	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Proporsi biaya operasional pompa selama siklus kerja	2
Gambar 1.2. <i>TLS Processs Overview</i>	3
Gambar 2.1. Karakteristik Pompa Sentrifugal pada kondisi <i>variable speed</i>	8
Gambar 2.2. Hubungan Putaran spesifik dan geometri impeller pompa	9
Gambar 2.3. Macam – macam kerugian pompa	10
Gambar 2.4. Kurva Efisiensi Pompa Terhadap Berbagai Kerugian.....	12
Gambar 2.5. Speed Control: karakteristik pompa dan system	13
Gambar 2.6. Skema dan karakteristik sistem pompa seri	14
Gambar 2.7. Skema dan karakteristik sistem pompa paralel	15
Gambar 2.8. <i>LPG Supply Chain</i>	22
Gambar 2.9. Tampilan visual - MATLAB.....	23
Gambar 2.10. Tampilan visual <i>pipe flow expert</i>	25
Gambar 2.11. Grafik faktor koreksi C_Q dan C_H	27
Gambar 2.12. Grafik faktor koreksi C_η	28
Gambar 2.13. Alur metode konversi performa pompa	29
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Tugas Akhir	34
Gambar 4.1. <i>LPG transfer pump</i>	36
Gambar 4.2. <i>LPG storage tank</i>	37
Gambar 4.3. PID Pompa LPG.....	38
Gambar 4.4. Input Elevasi Pipa pada <i>Pipe Flow Expert</i>	41
Gambar 4.5. Daftar Data Pipa Sistem Penyaluran LPG.....	42
Gambar 4.6. Daftar <i>Fitting</i> Salah Satu Segmen Pipa.....	43
Gambar 4.7. Data Pompa LPG.....	43
Gambar 4.8. Data Sifat Fluida	44
Gambar 4.9. <i>Isometric Drawing</i> Sistem Penyaluran LPG	45
Gambar 4.10. Penggambaran Ulang Sistem Penyaluran LPG	46
Gambar 4.11. Kurva <i>Head System</i> – 2 pompa	49

Gambar 4.12. Kurva <i>Head System</i> – 3 pompa	49
Gambar 4.13 <i>System curve</i> dan persamaan matematisnya	50
Gambar 4.14 Kurva karakteristik pompa	52
Gambar 4.15. <i>Parallel pump curves</i> – 3 pumps	56
Gambar 4.16. Diagram Alir Pemodelan.....	57
Gambar 4.17. Hasil <i>Plotting</i> Kurva Sistem vs Kurva Pompa Paralel	57
Gambar 4.18. Hasil <i>Plotting</i> terhadap Kurva Pompa Tunggal	58
Gambar 4.19. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 2 pompa.....	63
Gambar 4.20. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 3 pompa.....	64
Gambar 4.21. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 4 pompa.....	65
Gambar 4.22. Grafik Perubahan Debit terhadap Putaran.....	71
Gambar 4.23. Grafik Perubahan <i>Power</i> terhadap Putaran	71
Gambar 4.24. Grafik Perubahan Efisiensi terhadap Putaran.	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tekanan dan kapasitas maksimum tangki bola (<i>sphere</i>) LPG.....	18
Tabel 2.2 <i>Liquid Density</i> LPG	19
Tabel 2.3 <i>Vapour Density</i> LPG.....	20
Tabel 2.4 <i>Relative Density</i> LPG.....	20
Tabel 3.1 Variabel Simulasi.....	33
Tabel 4.1 Spesifikasi Pompa LPG dan <i>Driver</i>	35
Tabel 4.2 Hasil simulasi <i>system head</i> penyaluran LPG menggunakan 2 pompa.	47
Tabel 4.3 Hasil simulasi <i>system head</i> penyaluran LPG menggunakan 3 pompa.	48
Tabel 4.4. Hasil pembacaan kurva karakteristik pompa	52
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Q_0, Q_1, Q_2	54
Tabel 4.6 Persamaan Matematis <i>Pump Curve</i>	55
Tabel 4.7 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 19 m.....	59
Tabel 4.8 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 12 m.....	60
Tabel 4.9 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 5 m.....	61
Tabel 4.10 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 19 m	67
Tabel 4.11 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 12 m	68
Tabel 4.12 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 5 m	69
Tabel 4.13 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 19 m	72
Tabel 4.14 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 12 m	73
Tabel 4.15 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 5 m	74
Tabel 5.1 Data operasional konfigurasi optimum.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

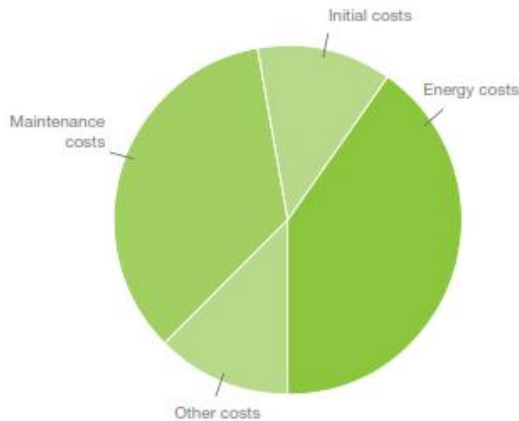
1.1. Latar Belakang

Liquefied Petroleum Gas (LPG) adalah suatu produk bahan bakar gas yang pada umumnya berupa gas propana dan butana atau merupakan campuran antara keduanya yang dalam temperature kamar akan berbentuk dalam fasa gas tetapi dalam tekanan tinggi atau temperature sangat rendah akan berbentuk cair yang tidak berasa, tidak berwarna dan tidak berbau. Kelebihan dari LPG yaitu emisi CO₂ yang dikeluarkan lebih sedikit dibanding penggunaan bahan bakar minyak sehingga LPG dapat dijadikan sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak yang semakin menipis.

Distribusi LPG memiliki model rantai pasok yang kompleks, mulai dari *offshore platform*, tanker LPG, terminal LPG, SPBBE hingga *end user*, baik pelanggan rumah tangga maupun industri. Pada setiap komponen rantai pasok tersebut juga memiliki kompleksitas tersendiri. Terminal LPG misalnya, selain berperan untuk menerima pasokan LPG dari *tanker*, juga bertugas menyimpan LPG pada *storage tank* sekaligus menyalurkan ke truk *skid tank* untuk didistribusikan. Penyaluran dari *storage tank* ke truk *skid tank* menjadi titik krusial yang menjamin kelancaran pasokan LPG hingga ke konsumen. Oleh karena itu proses penyaluran dari *storage tank* ke *skid tank* harus selalu lancar dan efisien. Terminal LPG harus mampu melayani truk *skid tank* sebanyak mungkin dan dalam waktu yang sesingkat mungkin. Hal ini hanya dapat dilakukan jika pompa penyaluran LPG (*LPG transfer pump*) bekerja secara optimum.

Peningkatan performa / efisiensi pompa dapat dilakukan ketika sistem telah berjalan, karena memang optimasi sulit dilakukan ketika tahap desain maupun instalasi. Pada tahap desain / perancangan seringkali hanya difokuskan untuk meminimalisir biaya modal awal dan memperkirakan

bentuk – bentuk kerusakan yang mungkin terjadi. Akibatnya, biaya perawatan dan energi sering terabaikan. Padahal menurut berbagai sumber, biaya perawatan dan energi mencakup 50 % hingga 95 % dari total biaya operasional pompa dalam satu siklus kerja, dan biaya modal awal hanya mencakup tidak lebih dari 15 % biaya tersebut.



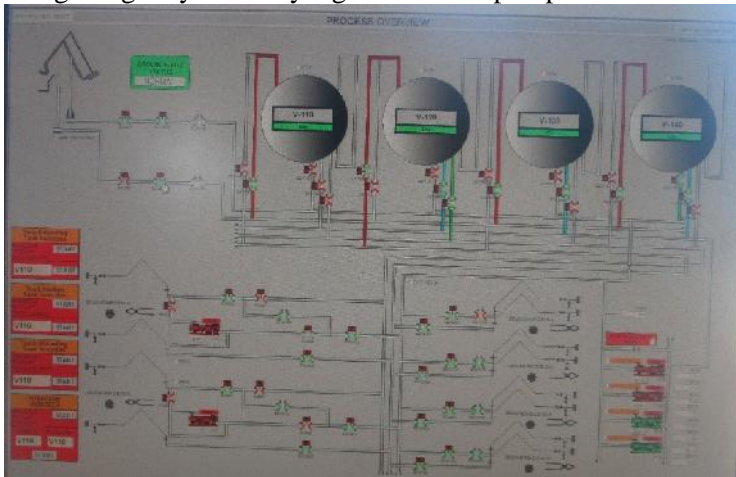
Gambar 1.1. Proporsi biaya operasional pompa selama siklus kerja

Sumber: www.eere.energy.gov/industry/bestpractices/motors.html

Terminal LPG Semarang (TLS) dilengkapi dengan 4 unit pompa penyaluran LPG yang berfungsi mengalirkan LPG *mix* dari *storage tank* ke *filling shed* untuk diisikan ke truk *skid tank*. Pada pengoperasiannya pompa – pompa tersebut dibagi menjadi 2 kelompok konfigurasi, yaitu pompa 1 & 2, sedangkan pompa 3 dengan pompa 4. Namun, belum pernah dilakukan studi lebih lanjut untuk mendapatkan konfigurasi yang paling optimum.

LPG transfer pump yang telah terpasang di TLS memiliki potensi untuk dioptimasi guna mendapatkan efisiensi terbaik dari berbagai alternatif konfigurasi. Apalagi pompa – pompa tersebut dilengkapi dengan *Variable Speed Drive*

(VSD) yang memungkinkan untuk mengoperasikan pompa pada berbagai Putaran (RPM). Semakin tinggi efisiensi pompa akan meningkatkan debit aliran LPG ke *filling shed*, sehingga pengisian LPG ke truk bisa dilakukan dengan semakin cepat (waktu pengisian semakin singkat) atau pada debit yang sama mengurangi daya listrik yang dibutuhkan pompa.



Gambar 1.2. TLS *Processs Overview*
 Sumber: TLS (Terminal LPG Semarang), 2016

1.2. Perumusan Masalah

Pelayanan terhadap konsumen menjadi tujuan utama TLS, yaitu menyalurkan sebanyak mungkin LPG ke konsumen (*skid tank*) dalam waktu yang sesingkat mungkin. Hal ini tentu membuat semua komponen TLS harus bekerja keras, baik operator maupun peralatan – peralatan penunjang proses distribusi / penyaluran LPG. Padahal setiap peralatan memiliki rentang operasional tertentu yang harus dipatuhi oleh operator. Apabila operasional berada diluar rentang tersebut, peralatan tidak akan mampu memberikan kinerja yang optimum, terlebih jika melebihi batas maksimum operasional akan membuat usia

pakai perlatan semakin pendek. Kondisi inilah yang dihadapi oleh *LPG transfer pump* yang ada di TLS.

LPG Transfer pump merupakan peralatan yang sangat vital karena merupakan tulang punggung penyaluran LPG di TLS. Proses penyaluran LPG akan terhenti jika pompa mengalami kegagalan. Pada sisi lain, penyaluran tidak akan maksimal jika pompa tidak dioperasikan pada titik operasi optimumnya. Padahal di TLS terdapat empat unit *LPG Transfer Pump* dengan spesifikasi yang sama dan terpasang secara paralel. Rangkaian pompa tersebut tentu sangat potensial untuk meningkatkan penyaluran LPG di TLS apabila operator mampu mengoperasikan pada titik optimumnya.

Permodelan pada software dan perhitungan dengan algoritma optimasi pompa, akan digunakan untuk mengetahui titik operasioanal pompa yang dapat menghasilkan *flowrate* penyaluran LPG paling optimum. Titik operasional tersebut direpresentasikan oleh RPM pompa, dimana *LPG Transfer Pump* yang dimiliki TLS ini merupakan pompa berjenis VSD (*Variable Speed Drive*) yang memungkinkan pompa tersebut dioperasikan pada berbagai Putaran. Selain itu, akan diperoleh kombinasi pompa dari alternatif 4 unit pompa yang tersedia. Selanjutnya, juga dapat diperoleh nilai – nilai RPM pada rentang perubahan *flowrate*. Data – data ini diharapkan dapat membantu operator untuk mengoperasikan pompa secara optimal.

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan utama yang akan menjadi fokus penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kombinasi pompa penyaluran LPG yang dapat memberikan *flowrate* paling optimum?
2. Bagaimana menentukan RPM operasional pompa yang paling optimum?

1.3. Batasan Masalah

Agar proses pengerjaan tugas akhir ini lebih fokus, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Analisis hanya dilakukan pada sistem penyaluran LPG, yaitu mulai dari *storage tank* hingga *Filling Shed*.
2. Fluktuasi jumlah truk yang melakukan pengisian di TLS diabaikan.
3. Tidak melakukan perhitungan / Analisis terhadap fenomena BOG (*Boil-Off Gas*) maupun resiko BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*)
4. Efek penyaluran LPG terhadap *skid tank* (truk tangki LPG) diabaikan.

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengetahui titik operasional kerja pompa LPG yang optimum berdasarkan variasi putaran dan konfigurasi.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada pihak TLS terkait bagaimana mengoptimalkan operasional pompa transfer LPG.
2. Memberikan referensi untuk penelitian sejenis, yaitu terkait optimasi pompa hidrokarbon, terutama LPG.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik pompa sentrifugal

Karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan dalam kurva – kurva karakteristik, termasuk juga pompa sentrifugal. **Gambar 3** dibawah ini menunjukkan hubungan antara *head* dan kapasitas (*Q-H Curves*) pada Putaran putaran pompa yang bervariasi (Sulzer Pump, 2010). Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan Putaran memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan karakteristik performa pompa. Adapun komponen karakteristik pompa antara lain adalah berikut:

2.1.1. Putaran Spesifik (n_s / n_q)

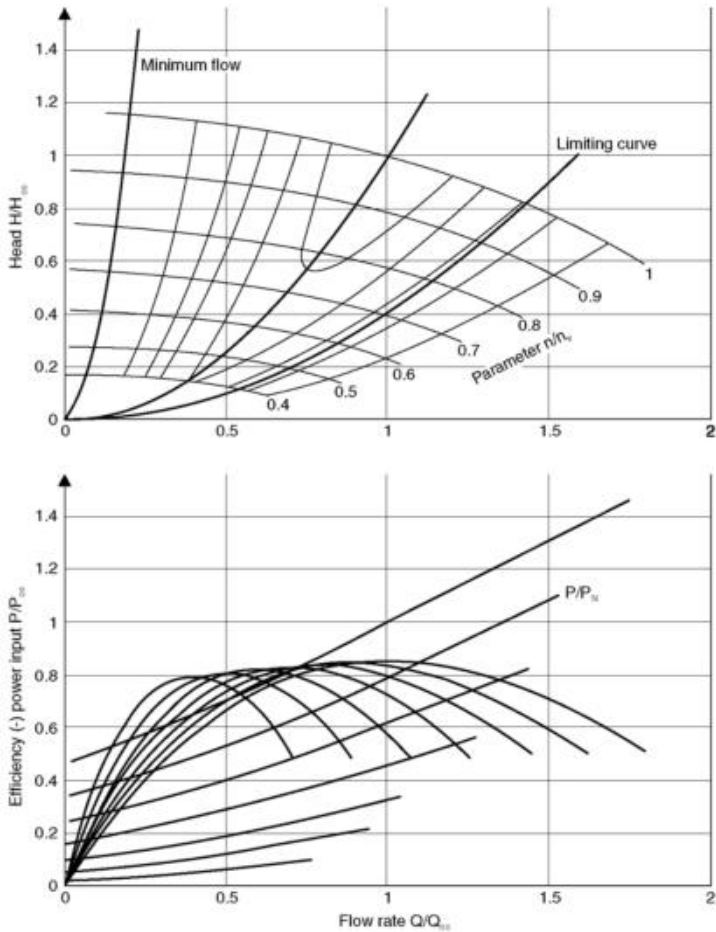
Putaran spesifik pompa merupakan suatu bilangan numerik yang menunjukkan geometri dan karakteristik pompa (**Gambar 2.2**). Nilai Putaran spesifik merupakan fungsi dari debit, *head* dan putaran pompa pada kondisi BEP (*Best efficiency Point*) (Garribotti, 2003), dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$n_s = n \cdot \sqrt{Q} / H^{0,7} ; Q \text{ [m}^3\text{/s]}; H \text{ [m]}; n \text{ [rpm]} \quad (\text{versi eropa})$$

$$n_q = n \cdot \sqrt{Q} / H^{0,7} ; Q \text{ [gpm]}; H \text{ [ft]}; n \text{ [rpm]} \quad (\text{versi amerika})$$

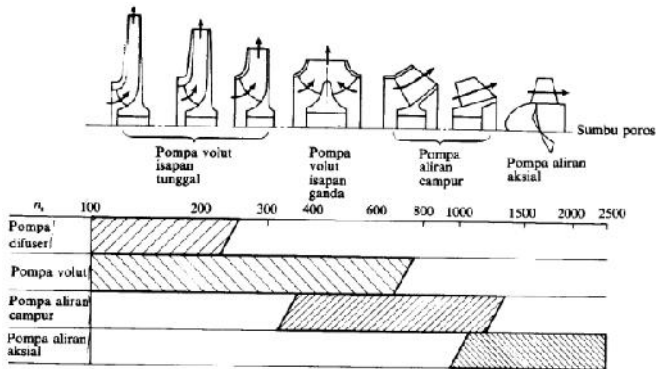
Hubungan antara kedua versi persamaan tersebut adalah:

$$n_s = n_q / 51,65$$



Gambar 2.1. Karakteristik Pompa Sentrifugal pada kondisi
variable speed

Sumber: *Centrifugal Pump Handbook*, 2010



Gambar 2.2. Hubungan Putaran spesifik dan geometri impeller pompa

Sumber: Sularso dan Haruo Tahara, 2000

2.1.2. Total Head Pump / Energi Spesifik

Energi spesifik suatu pompa adalah total energi yang dimanfaatkan oleh media / fluida pada satuan massa, yang diukur melalui sisi *discharge* dan *suction* pompa. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *total head pump* / energi spesifik bersumber dari persamaan Bernoulli, yaitu:

$$H = H_d - H_s = \left(\frac{p_d}{\rho \cdot g} + z_d + \frac{c_d^2}{2 \cdot g} \right) - \left(\frac{p_s}{\rho \cdot g} + z_s + \frac{c_s^2}{2 \cdot g} \right) = \frac{p_d - p_s}{\rho \cdot g} + (z_d - z_s) + \frac{c_d^2 - c_s^2}{2 \cdot g}$$

Persamaan diatas terdiri dari 3 bagian. Bagian pertama merupakan perbedaan tekanan antara sisi *discharge* dan *suction*. Bagian kedua merupakan perbedaan tekanan karena pengaruh ketinggian (*Head Static*), sedangkan bagian ketiga merupakan tekanan akibat perbedaan kecepatan aliran antar *discharge* dan *suction* pompa (*kinetic pressure*).

2.1.3. Kebutuhan Daya Pompa

Pompa membutuhkan suplai daya agar mampu memberikan energi ke fluida. Apabila debit aliran, head dan efisiensi pompa diketahui, maka dapat diperoleh besarnya daya

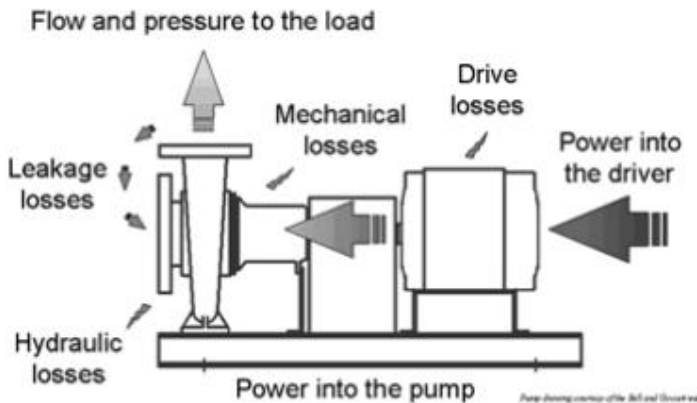
yang dibutuhkan oleh pompa tersebut, yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta}$$

Daya pompa diatas harus dibagi dengan nilai efisiensi, karena adanya rugi – rugi daya pada pompa. Nilai efisiensi berkisar 0,45 – 0,85 (*Portland energy Conservation, 2007*).

2.1.4. Rugi – rugi Pompa

Pada sebuah pompa, tidak semua daya tersalurkan kepada fluida yang dialirkan. Sebagian daya terbuang, sehingga mengakibatkan kerugian / *losses* pada sistem pemompaan. Sesuai ilustrasi yang ditunjukkan oleh gambar 4 di bawah ini, terdapat berbagai macam *losses*, yaitu:



Gambar 2.3. Macam – macam kerugian pompa

Sumber: *Portland energy conservation, 2007*.

- *Drive System Losses*

Kerugian ini muncul dari penggerak pompa, yang pada umumnya menggunakan motor listrik. Losses pada motor listrik ditimbulkan antara lain oleh gesekan poros dengan *bearing*, hambatan pada kumparan dan penggunaan sebagian daya untuk memutar *fan* untuk pendinginan.

- *Mechanical Losses*

Merupakan kerugian daya yang timbul akibat gesekan pada *bearing* dan *seal* antar bagian pompa. Efisiensi mekanis dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_m = \frac{P - P_m}{P}$$

- *Volumetric losses*

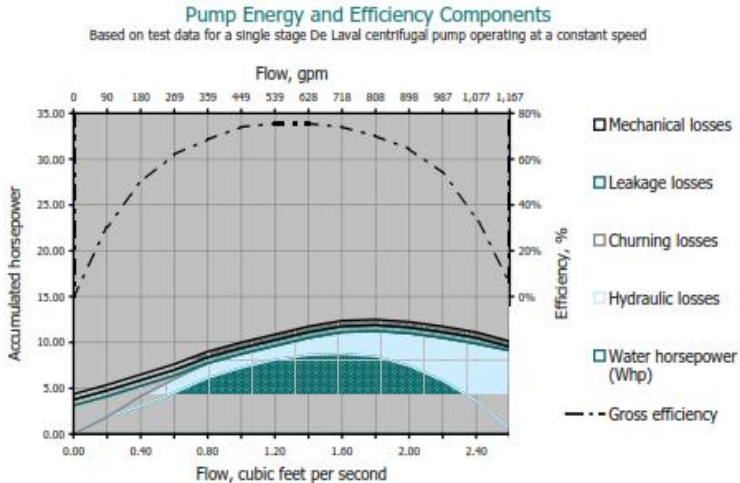
Kebocoran yang timbul pada sebuah pompa akan menyebabkan kerugian volumetric, yang berdampak pada daya yang dibutuhkan pompa untuk memenuhi permintaan debit yang sama.

- *Hydraulic losses*

Kerugian hidrolis muncul dari adanya gesekan dan ketidakaturan aliran fluida di dalam saluran pompa (dari *suction* sampai *discharge flange*). Kerugian ini akan mengurangi head pompa dari spesifikasi yang diberikan oleh produsen.

2.1.5. Efisiensi Pompa

Gambar 2.4 di bawah ini menunjukkan hubungan energi masuk dan keluar, serta kerugian – kerugian yang timbul pada sebuah pompa sentrifugal yang dapat mengurangi efisiensi kinerja pompa.



Gambar 2.4. Kurva Efisiensi Pompa Terhadap Berbagai Kerugian

Sumber: Portland energy conservation, 2007.

2.2. Pengaturan Pompa Sentrifugal

Pada pengoperasian pompa sentrifugal, untuk mendapatkan *flowrate* yang diinginkan dapat diperoleh dengan mengatur kondisi operasional pompa, baik secara langsung maupun tidak. Berikut ini beberapa metode pengaturan kinerja pompa sentrifugal:

2.2.1. Speed Control

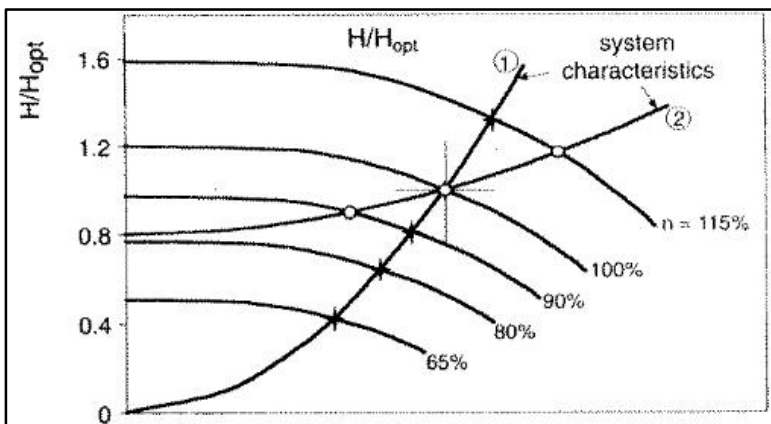
Sistem pengaturan pompa dengan cara mengatur Putarannya (*speed control*) dapat mengatasi *energy losses* sebagaimana yang muncul pada *throttling control*. Walaupun tidak menghilangkan secara total, namun *speed control* menimbulkan *energy losses* yang jauh lebih rendah. Untuk mengaplikasikan *speed control* membutuhkan peralatan tambahan yang lebih mahal dan menambah kebutuhan ruang peralatan utama. Namun, sistem ini mampu mengurangi konsumsi energi lebih baik dari pada sistem yang lain.

Peralatan tambahan yang sering digunakan pada *speed control* antara lain: *variable speed electric motor*, *variable speed gear*, kopling hidrolis, motor bakar, turbin uap dan turbin gas. Perubahan karakteristik pompa karena adanya perubahan Putaran, dapat dihitung dengan rumusan berikut:

$$\frac{Q_x}{Q_d} = \frac{n_x}{n_d}; \frac{H_x}{H_d} = \left(\frac{n_x}{n_d}\right)^2$$

$$\frac{P_x}{P_d} = \left(\frac{n_x}{n_d}\right)^3; \frac{N}{N_x} \frac{x}{H_d} = \left(\frac{n_x}{n_d}\right)^2$$

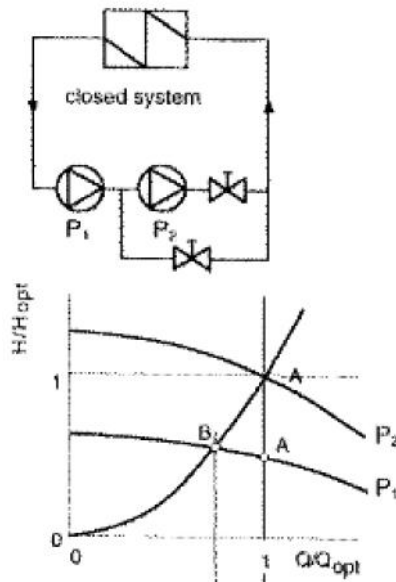
Untuk mengurangi konsumsi energi, sistem pengaturan dengan *speed control* memiliki keunggulan lain dibanding sistem yang lain. Karena motor listrik yang digunakan mampu melakukan *soft start & stop*, sehingga pengoperasian dapat dilakukan secara halus dan meminimalisir potensi terjadinya *water hammer*. Hal ini tentu akan meningkatkan usia pakai seluruh komponen mekanis, dibandingkan jika menggunakan sistem pengaturan yang lain.



Gambar 2.5. Speed Control: karakteristik pompa dan system
 Sumber: *Termomeccanica Centrifugal Pump Handbook*, 2003

2.2.2. Pompa Seri

Kombinasi pompa seri dapat digunakan ketika sistem membutuhkan variasi *head* yang tinggi, atau jika *head* sistem tidak mampu dilayani oleh satu pompa. Penggunaan yang lain adalah sebagai *booster pump* yang dipasang di depan pompa utama agar NPSH pompa utama dapat dipenuhi. Sistem pengaturan dengan kombinasi pompa seri ini cukup sederhana untuk diaplikasikan. Namun, pompa kedua atau ketiga harus mampu menerima tekanan yang lebih tinggi dibandingkan pompa pertama. Karakteristik pompa seri ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.

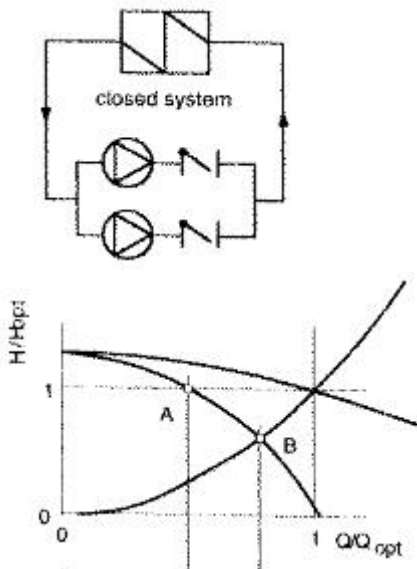


Gambar 2.6. Skema dan karakteristik sistem pompa seri
 Sumber: *Termomeccanica Centrifugal Pump Handbook*, 2003

2.2.3. Pompa Paralel

Pada sistem yang membutuhkan *flowrate* tinggi, dan atau *flowrate* sistem tidak mampu dipenuhi oleh satu unit pompa, maka solusi yang dapat diaplikasikan adalah

penggunaan 2 unit pompa secara paralel. Meski begitu, pemasangan 2 unit pompa bukan berarti *flowrate* akan meningkat dua kali lipat, karena *flowrate* yang dihasilkan baik oleh satu atau dua unit pompa sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah *ratio head statis/dinamis* pada karakteristik sistem. Selain itu, sistem paralel ini hanya dapat digunakan pada sistem yang variasi *head*-nya kecil. Karakteristik pompa paralel ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7. Skema dan karakteristik sistem pompa paralel
 Sumber: *Termomeccanica Centrifugal Pump Handbook*, 2003

2.3. Penentuan Titik Operasi Pompa Kombinasi

Titik operasi pompa merupakan kunci penting dalam pengoperasian pompa. Karena pada titik inilah pompa akan mengalirkan *flowrate* paling optimum pada kondisi head sistem yang telah diketahui. Pada pompa yang dilengkapi dengan VSD, titik operasi dapat diperoleh dengan mengatur putaran

motor listrik penggerak pompa (RPM). Koor, (2014) menjelaskan bahwa untuk mencapai titik efisiensi tertinggi *pumping station* pada sistem distribusi air, pompa – pompa yang tersusun secara paralel harus dioperasikan pada Putaran putaran yang sama. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian berikutnya oleh Koor, (2015), bahwa pompa – pompa yang dikonfigurasi secara paralel, harus dioperasikan pada Putaran putaran yang sama untuk mendapatkan efisiensi kombinasi terbaik, apabila spesifikasi pompa yang digunakan sama. Pada sistem HVAC juga ditemukan hal serupa, bahwa pompa – pompa setipe yang dilengkapi VSD dan dioperasikan secara paralel pada kondisi hidrolis yang sama, serta Putaran putaran yang sama akan menghasilkan efisiensi kombinasi terbaik (Tianyi, 2012). Pompa – pompa paralel pada industri migas, khususnya *refinery*, juga harus dioperasikan pada kondisi yang sama untuk mendapatkan efisiensi kombinasi terbaik (Crease, 1996).

2.4. Liquefied Petroleum Gas (LPG)

2.4.1. Karakteristik

LPG terdiri dari campuran utama propana (C_3) dan butana (C_4) dengan sedikit presentase hidrokarbon tidak jenuh (propilen dan butilen) dan beberapa fraksi C_2 dan C_5 . LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang berbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat dicairkan pada suhu normal dengan tekanan yang cukup besar atau didinginkan pada tekanan atmosfer. Walaupun digunakan dalam bentuk gas, namun untuk kenyamanan dan kemudahannya disimpan dan disalurkan dalam bentuk cair dengan tekanan tertentu. Jika LPG cair berubah bentuk, kembali menjadi gas volume-nya akan meningkat menjadi 250 kali lipat.

Berdasarkan komposisi kandungannya, LPG dapat digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu (Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2009):

1. LPG Propana

LPG jenis ini mengandung propana 95 % volume dan ditambahkan dengan pembau (*merchaptane*). LPG propana memiliki harga paling tinggi dan umumnya digunakan oleh negara dengan empat musim.

2. LPG Butana

LPG jenis ini mengandung butana 97,5 % volume dan ditambahkan dengan zat pembau. LPG butane biasanya cocok digunakan oleh Negara – Negara yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun. LPG butane setelah melalui proses *deisobutanizer* mengandung sedikit propane dan isobutana. Dalam gas alam rasio normal isobutana adalah 2 : 1.

3. LPG Mix

LPG ini merupakan campuran antara propane dan butane dengan komposisi propane 50 – 90 % dan butane 10 – 50 % (Chowdhury, 2013) serta komposisi keduanya mencapai 97% volume. LPG jenis inilah yang banyak digunakan untuk rumah tangga.

2.4.2. Working Pressure

Pada tekanan atmosfer dan suhu kamar, LPG hanya berbentuk gas. Namun, akan berubah menjadi cairan / *liquid* jika ditekan atau didinginkan, dan menghasilkan efisiensi volumetrik sebesar 250 kali. Tekanan yang digunakan untuk mencairkan (gas alam) LPG umumnya disebut sebagai *vapor pressure*, yang besarnya tergantung oleh komposisi dan temperatur gas yang akan dicairkan, namun umumnya berkisar 220 kPa (32 psi) untuk butane pada suhu 20 °C, dan 2200 kPa (320 psi) untuk propane.

2.4.3. Boil-off Gas

McCoy (2007), menjelaskan bahwa LPG (propan & butan) pada umumnya disimpan pada tangki bertekanan atmosfer (1 bar) maupun lebih. Apabila disimpan pada tangki

bertekanan atmosfer, maka tangki tersebut harus terus menerus dijaga pada temperatur rendah(*refrigerated*), yaitu -40° F untuk propane dan 0° F untuk butan, agar LPG tetap berada pada fase cair. Panas yang terserap dari lingkungan dapat menyebabkan sebagian propan dan butan berubah ke dalam fase gas dan menghasilkan uap yang sering disebut sebagai BOG (*Boil-off Gas*).

Pada umumnya, BOG yang timbul pada tangki penyimpanan LPG tipe *refrigerated* dapat di-recovery (dicairkan kembali), dengan cara dikompresi dari tekanan 1 psig menjadi 200 psig dan didinginkan melalui kondensor. Meski begitu, munculnya BOG tetap menimbulkan kerugian karena membutuhkan tambahan energi untuk melakukan *recovery* (McCoy, 2007).

2.4.4. BLEVE

Untuk menjaga LPG tetap pada fase cair, selain didinginkan pada tangki bertekanan atmosfer, yaitu LPG disimpan pada tangki bertekanan tinggi. Pada kondisi yang bertekanan tersebut, LPG tidak perlu dijaga pada temperatur sangat rendah. Namun sistem ini membutuhkan tangki khusus yang mampu mengakomodir tekanan yang diperlukan untuk menjaga fase cair LPG. Tangki ideal yang direkomendasikan adalah tangki berbentuk bola (*spherical vessel*), karena internal *pressure* pada tangki jenis ini sama pada semua titik (Samvastar, 2014). Tangki LPG berbentuk bola memiliki batas tekanan dan kapasitas maksimum sesuai tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Tekanan dan kapasitas maksimum tangki bola (*sphere*) LPG

Product	Typical design Pressure (barg)	Maximum Sphere Capacity (m ³)
Propane	18	2000 – 3000
Butane	7	3000 - 5000

Sumber: Brook, 2005

Permasalahan / bahaya yang menjadi isu utama terkait tangki penyimpanan bertekanan tinggi adalah BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*). BLEVE merupakan fenomena dimana terjadi rilis / kebocoran fluida dari tangki bertekanan tinggi yang menampung cairan bertemperatur tinggi atau gas cair seperti halnya LPG (Samvastar, 2014). Kebocoran ini diakibatkan oleh rusaknya tangki (pecah), baik karena *overpressure* fluida, benturan, korosi, maupun kebakaran. BLEVE merupakan fenomena yang sangat berbahaya, meskipun fluida yang bocor bukan termasuk fluida yang mudah terbakar (*flammable*). Apabila fluida yang bocor termasuk fluida yang mudah terbakar akan timbul ledakan (*fire jet / fire ball*) yang besarnya sebanding dengan banyaknya fluida yang bocor (Elatabani, 2010). Sedangkan LPG merupakan salah satu fluida yang sangat mudah terbakar.

2.4.5. Physical Properties

a) Liquid Density

Tabel 2.2 *Liquid Density* LPG

Temperature (°C)	Typical Density Range (kg/m ³)	
	Commercial Butane	Commercial Propane
-10	597-611	535-550
0	587-601	525-535
10	575-593	510-525
20	564-579	495-505
30	552-569	480-490
40	540-557	463-470
50	525-540	443-454

Sumber: Primove, *LPG Basics and Grades*

b) Vapour Density

Nilai *vapour density* pada tekanan uap berikut (**Tabel 2.3**) menunjukkan bagaimana uap LPG akan mempengaruhi jumlah massa LPG dalam suatu tabung penyimpanan. Contoh, pada sebuah bejana/tabung berkapasitas 100 m³ yang terisi

propane setengahnya, 50 m³, pada temperatur 30 °C, akan memiliki kandungan uap sebanyak 2.4 m³, 5 % dari total isi propane.

Tabel 2.3 *Vapour Density LPG*

Temperature (°C)	Typical Density Range (kg/m ³) – at vapour pressure	
	Commercial Butane	Commercial Propane
-20	1.2	5.6
-10	1.8	8.0
0	2.9	10.7
10	4.2	13.8
20	5.4	17.7
30	7.0	23.5
40	9.7	30
50	12.4	39
60	16	49.6

Sumber: *Primove, LPG Basics and Grades*

Densitas uap LPG juga lebih berat dibandingkan dengan udara atmosfer, sebagaimana ditunjukkan oleh tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 *Relative Density LPG*

Relative Density of LPG vapour compared to dry air at 15 °C and 100 kPa		
Temperature (°C)	Commercial Butane	Commercial Propane
0	2.00 – 2.22	1.48 – 1.63
15	1.90 – 2.10	1.40 – 1.55
20	1.87 – 2.06	1.38 – 1.52
30	1.81 – 2.06	1.33 – 1.47

Sumber: *Primove, LPG Basics and Grades*

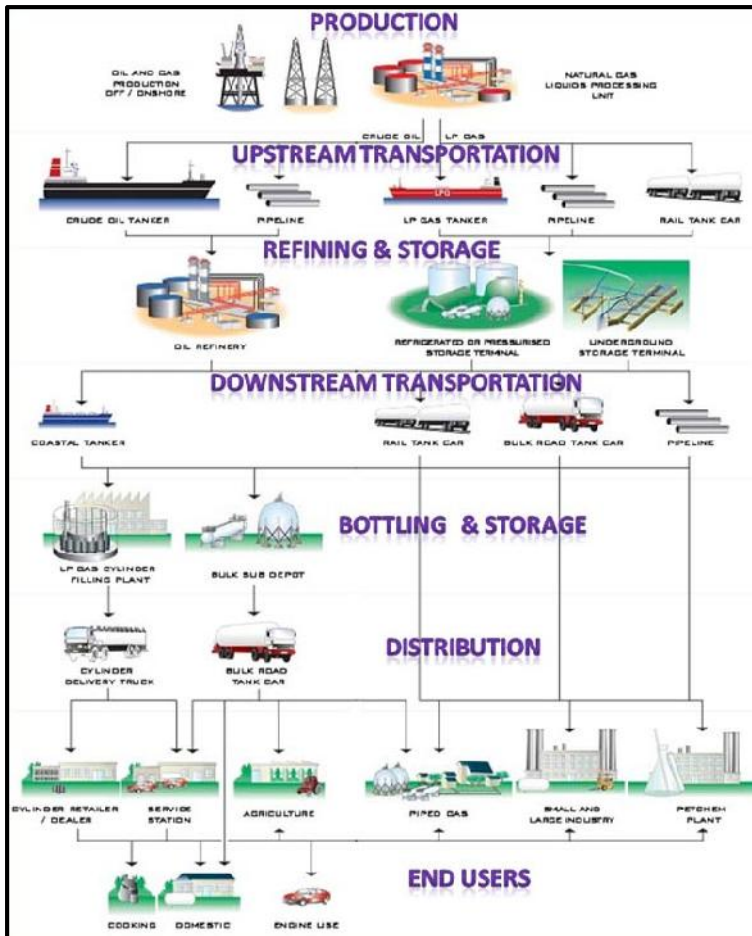
Dengan densitas yang lebih berat, maka uap LPG cenderung akan berada di bawah (dekat dengan tanah). Hal ini sangat

berbahaya, karena akan mudah timbul kebakaran apabila ada sumber panas yang cukup. Selain itu, jika dibandingkan dengan gas lain, propane dan butane memiliki nilai *flammability limit* rendah, yaitu 2.15% - 9.6% (*elgas.com.au*). Artinya, jika di dalam udara tercampur uap LPG dengan proporsi tersebut, maka LPG akan terbakar.

2.5. Supply chain LPG

Terdapat tujuh tahap dalam sistem rantai pasok LPG (*elgas.com.au*), sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2.8**, yaitu:

- a. **Production** – Tahap ini merupakan proses produksi gas alam maupun minyak mentah pada sumur gas maupun minyak, baik *onshore* maupun *offshore*. Pada dasarnya LPG dihasilkan dari hasil pengolahan minyak mentah atau gas alam. 40% LPG berasal dari penyulingan (*refinery*) minyak mentah di kilang. Seperempat berasal dari *associated gas* pada proses produksi minyak mentah. Sedangkan sisanya berasal dari pengolahan gas alam secara langsung (Kojima, 2011).
- b. **Upstream Transportation** - Hasil produksi dibawa ke kilang atau area penyimpanan, dengan menggunakan kapal tanker, kereta tanker maupun jaringan perpipaan.
- c. **Refining & Storage**– Proses pengolahan dan penyulingan gas akan dilakukan di kilang, termasuk proses pencairan LPG.
- d. **Downstream Transportation**– LPG yang telah diproses ditransportasikan menggunakan kapal, kereta maupun jaringan perpipaan
- e. **Bottling & Storage** – LPG dibotolkan (disimpan dalam tabung LPG) maupun pada tangki besar penyimpanan di Depot / Terminal LPG
- f. **Distribution** – LPG didistribusikan ke pengguna akhir dengan menggunakan truk tangki khusus LPG.
- g. **LPG End Users** – Konsumen LPG antara lain: perumahan, pertanian, industri komersial, industri petrokimia, dsb.



Gambar 2.8. LPG Supply Chain

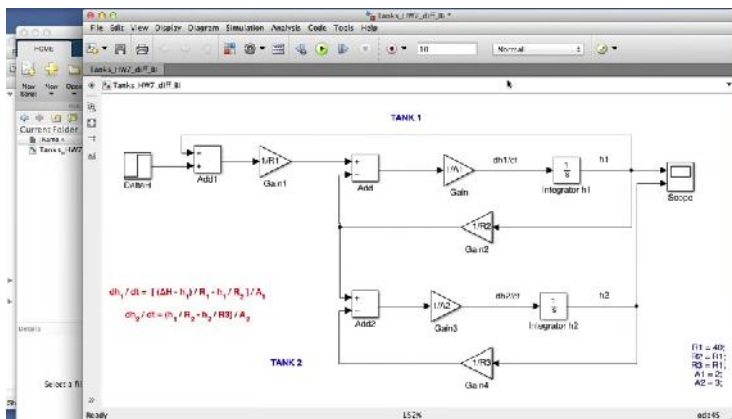
Sumber: <http://www.elgas.com.au/blog/455-lpg-gas-supply-chain>

2.6. Software Pendukung

2.6.1. MATLAB

Kadaffi, (2011) menjelaskan bahwa MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. MATLAB yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah – masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi, dll. Sehingga MATLAB banyak digunakan pada:

- Matematika dan komputasi
- Pengembangan dan algoritma
- Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe
- Analisis data, eksplorasi dan visualisasi
- Analisis numerik dan statistik
- Pengembangan aplikasi teknik



Gambar 2.9. Tampilan visual - MATLAB

Sumber: MATLAB, 2016

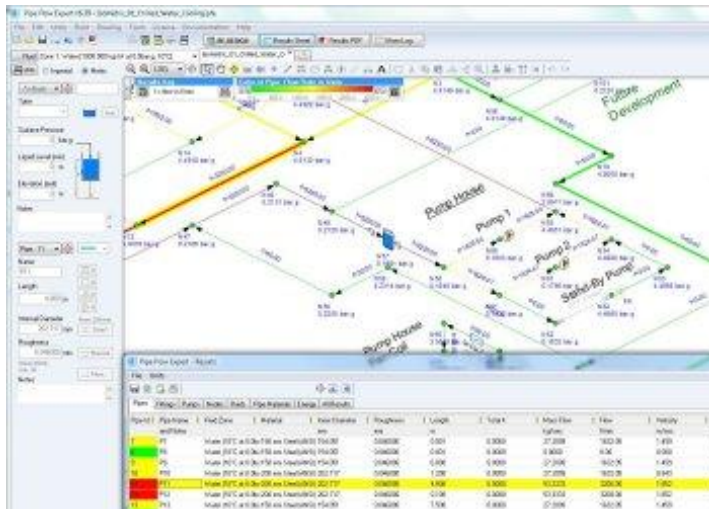
Pemodelan pada MATLAB dapat dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang telah terintegrasi pada seluruh sistem software. merupakan fasilitas khusus yang disediakan oleh MATLAB yang dapat digunakan untuk pemodelan, simulasi hingga Analisis sistem dinamik. Konsep utama pada adalah mengubah bentuk nyata (rangkaian riil sistem) ke dalam bentuk matematis, yang diwujudkan dalam bentuk *block diagram* (Sucita, 2010), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10 di atas.

2.6.2. Pipe Flow Expert

Pipe Flow Expert dirancang untuk menganalisis dan memecahkan berbagai masalah yang terkait dengan debit aliran dan *pressure loss* pada suatu jaringan perpipaan. *Software* ini memungkinkan penggunaanya untuk menggambar jaringan pipa yang kompleks dan menganalisis berbagai parameter ketika fluida mengalir pada pipa. *Pipe Flow Expert* mampu menghitung aliran dan tekanan sistem yang seimbang pada kondisi *steady-state*.

Hasil perhitungan yang dapat diperoleh dari *software* ini antara lain:

- Debit aliran
- Putaran alira
- *Reynold number*
- Faktor gesekan
- Kerugian – kerugian pada pipa dan *fitting*
- Titik operasi pompa



Gambar 2.10. Tampilan visual *pipe flow expert*
 Sumber: *Pipe Flow Expert*, 2016

2.7. Penelitian Terdahulu

Koor, (2014) telah melakukan penelitian terhadap pompa setipe (sama) pada sistem distribusi air yang dioperasikan secara parallel. Pada penelitian ini dihasilkan algoritma – algoritma untuk memperhitungkan kondisi operasional pompa pada mode parallel. Algoritma yang diperoleh terkait dengan penentuan titik operasi kombinasi pompa parallel pada jumlah pompa tertentu, serta algoritma untuk penentuan jumlah pompa optimum.

Tianyi, (2012) meneliti metode kontrol yang paling optimum terhadap pompa – pompa parallel yang dilengkapi dengan *Variable Frequency Driver (VFD)* pada sistem pengondisian udara (AC). Peneliti tersebut bermaksud untuk menemukan metode perhitungan secara langsung (*on-line*) untuk menentukan titik operasi (*speed ratio*) serta kombinasi pompa AC yang paling optimum. Hasil berikutnya yang diperoleh bahwa dengan optimasi tersebut terjadi penghematan terhadap konsumsi energy listrik.

Wijaya, (2015) melakukan Analisis terhadap performa pompa (titik operasi) yang digunakan pada sebuah *oil tanker*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konfigurasi pompa (tunggal, seri, atau paralel) dan karakteristik fluida (*crude oil*). Karena *oil tanker* ini mengangkut *crude oil* yang bermacam – macam.

2.8. Koreksi Performa Pompa - *Hydraulic Institute*

Koreksi terhadap performa pompa harus dilakukan apabila fluida kerja pompa berbeda antara fluida pengujian dan operasional. Perubahan / perbedaan viskositas akan memberikan perubahan yang signifikan terhadap performa pompa, seperti penurunan debit dan efisiensi, perubahan *head*, dan kenaikan *power* yang dibutuhkan pompa. Pada kondisi di Terminal LPG Semarang, data spesifikasi pompa diperoleh dari pengujian dengan menggunakan air, sedangkan pada operasionalnya, pompa harus mengalirkan LPG. Oleh karena itu untuk memastikan ada tidaknya perubahan terhadap performa pompa terhadap spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik, harus dilakukan pengoreksian / konversi. Koreksi terhadap performa pompa dilakukan berdasarkan metode yang diberikan oleh *Hydrolic Institute*(HI) pada dokumen ANSI/HI 9.6.7 - *Effects of Liquid Viscosity on Rotodynamic (Centrifugal and Vertical) Pump Performance*.

Langkah – langkah dalam proses konversi konversi pompa berdasarkan metode HI adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai **parameter** berdasarkan data performa pompa pada fluida air pada titik efisiensi tertinggi (*Best Efficiency Point – BEP*). Nilai parameter tersebut dihitung berdasarkan persamaan berikut:

- Untuk satuan *metric*

$$B = 16.5 \times \frac{(V_v)^{0.5} \times (H_B - W)^{0.0}}{(Q_B - W)^{0.3} \times N^{0.2}}$$

- Untuk satuan *US customary*

$$B = 26.6 \times \frac{(V_v)^{0.5} \times (H_B - W)^{0.0}}{(Q_B - W)^{0.3} \times N^{0.2}}$$

Keterangan: (*metric*) / (*US customary*)

B = Faktor koreksi / parameter

V_{vis} = Viskositas kinematik fluida yang dipompa (cSt)

H_{BEP-W} = Head pompa pada fluida air (m) / (ft)

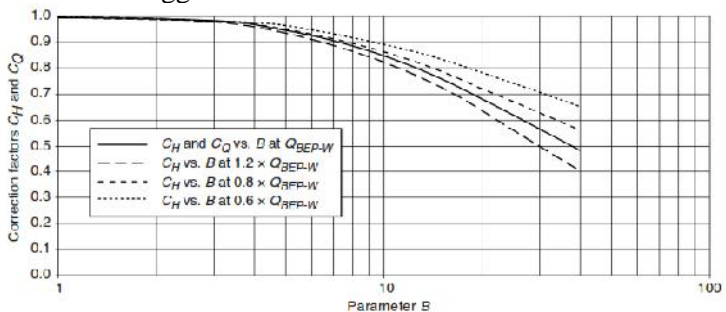
Q_{BEP-W} = Debit pompa pada fluida (m^3/h) / (gpm)

N = Putaran pompa (RPM)

Catatan:

Apabila nilai parameter B = 1, maka tidak ada koreksi yang diberlakukan terhadap performa pompa. Oleh karena itu, Head (H), Debit (Q), dan Efisiensi () pompa ketika mengalirkan LPG sama dengan nilai yang tertera pada spesifikasi pompa

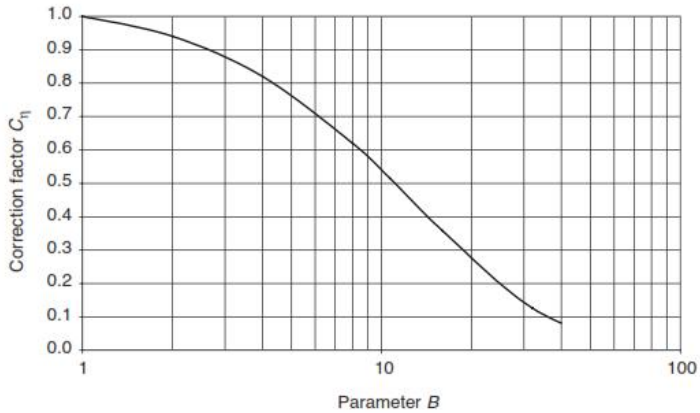
2. Menentukan nilai faktor koreksi debit (C_Q) dan faktor koreksi head (C_H) berdasarkan grafik berikut ini. Faktor koreksi ini digunakan untuk mengoreksi data debit dan head pompa pada BEP saat menggunakan fluida air.



Gambar 2.11. Grafik faktor koreksi C_Q dan C_H

Sumber: ANSI/HI 9.6.7

3. Menentukan nilai faktor koreksi efisiensi (C_η) berdasarkan grafik berikut ini. Faktor koreksi ini digunakan untuk mengoreksi nilai efisiensi pompa pada fluida air.



Gambar 2.12. Grafik faktor koreksi C_η

Sumber: ANSI/HI 9.6.7

4. Menghitung nilai *power input* yang dibutuhkan pompa pada saat beroperasi pada fluida kerja, berdasarkan persamaan berikut:

- Untuk satuan *metric*

$$P_v = \frac{Q_v \times H_v - t_i \times s}{367 \times \eta_{vis}}$$

- Untuk satuan *USC*

$$P_v = \frac{Q_v \times H_v - t_i \times s}{3960 \times \eta_v}$$

Keterangan: (*metric*) / (*USC*)

B = Faktor koreksi / parameter

P_{vis} = *Power input* (kW) / (hp)

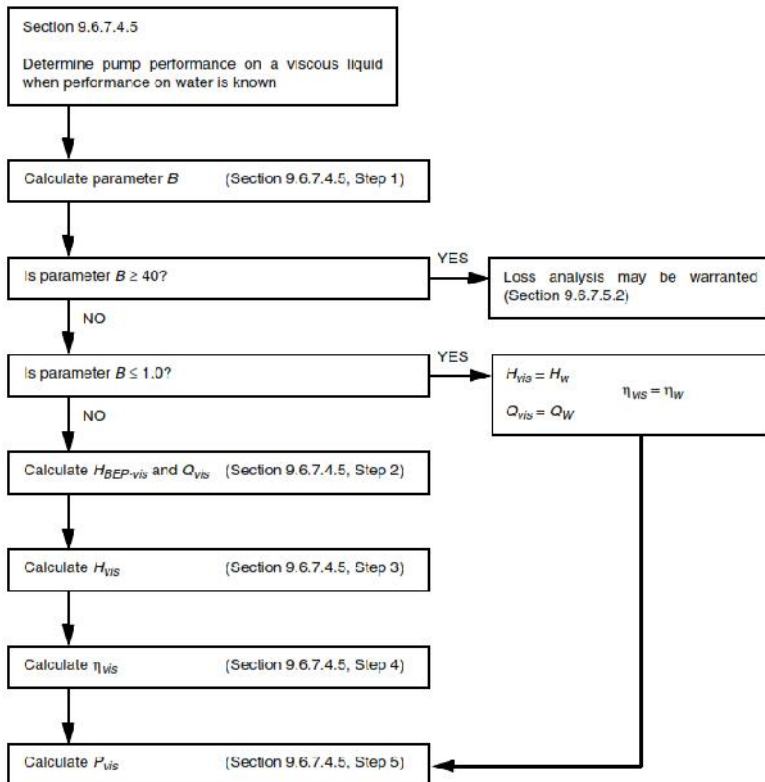
H_{vis} = *Head* pompa pada fluida kerja (m) / (ft)

Q_{vis} = Debit pompa pada fluida kerja (m^3/h) / (gpm)

η_{vis} = Efisiensi pompa pada fluida kerja (%)

s = *Spesific gravity*

Proses tersebut dapat pula dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 2.13. Alur metode konversi performa pompa
Sumber: ANSI/HI 9.6.7

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Perumusan Masalah

Pada tahapan paling awal ini, akan dirumuskan masalah apa saja yang ingin diselesaikan dalam tugas akhir ini. Kombinasi dan putaran operasional pompa transfer LPG merupakan dua masalah pokok yang ingin diselesaikan pada tugas akhir ini.

3.2. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, penulis akan mencari referensi sebanyak-banyaknya terkait tema atau topik yang diangkat pada tugas akhir ini, yaitu pompa sentrifugal, pompa paralel, *control capacity – speed control*, karakteristik LPG dan metode pengombinasian pompa. Literatur yang akan ditinjau dapat berupa Tugas Akhir, Jurnal, Buku, Prosiding, *Paper*, Internet dan lain-lain. Selain itu pada tahapan ini juga akan dijelaskan secara detail mengenai istilah-istilah penting dan yang akan sering muncul pada tugas akhir ini.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara survey lapangan ke tempat studi kasus yang telah ditentukan, yakni Terminal LPG Semarang. Data-data yang dibutuhkan antara lain :

- Spesifikasi LPG *Transfer Pump*.
- Spesifikasi LPG
- Data operasional pompa.
- Data penyaluran LPG
- Data pipa sistem penyaluran LPG, yaitu diameter, panjang, elevasi (PID & *Isometric Drawing*).

3.4. Koreksi Kinerja Pompa

Koreksi terhadap performa pompa dilakukan berdasarkan metode yang diberikan oleh *Hydraulic Institute* pada dokumen

ANSI/HI 9.6.7 - *Effects of Liquid Viscosity on Rotodynamic (Centrifugal and Vertical) Pump Performance.*

Hasil – hasil koreksi performa pompa divalidasi dengan cara mencocokkan data hasil koreksi dengan data spesifikasi pompa. Hal ini untuk memastikan bahwa pompa tetap beroperasi pada kondisi yang diijinkan, walaupun mengalirkan fluida yang berbeda.

3.5. Analisis System Head

Untuk melakukan permodelan terhadap pompa, terlebih dahulu harus diketahui head sistem yang akan dihadapi oleh pompa. Sistem yang akan dianalisis adalah pipa penyaluran LPG mulai dari *Storage Tank* pada sisi *suction* hingga *Filling Shed* pada sisi *discharge*. Penentuan *system head* dilakukan dengan menggunakan software *Pipe Flow Expert*.

Proses analisis diawali dengan menggambar ulang sistem penyaluran LPG sedetail mungkin, mulai dari *layout*, dimensi dan elevasi perpipaan, jenis dan jumlah *fitting* pada pipa, hingga *input* data spesifikasi pompa dan LPG. Oleh karena itu, harus selalu dilakukan validasi terhadap semua data yang dimasukkan ke *software*, baik PID, *isometric drawing*, hingga katalog pompa dan data LPG.

3.6. Pemodelan MATLAB

Selanjutnya, berdasarkan data dan nilai *System Head* dapat dilakukan permodelan terhadap sistem pompa penyaluran LPG. Pemodelan dilakukan dengan cara mengkombinasikan pompa – pompa yang ada dan dioperasikan pada RPM – RPM tertentu, untuk mengetahui debit yang dihasilkan dari setiap kombinasi dan setiap RPM pompa. Seluruh pemodelan tersebut dilakukan dengan menggunakan software MATLAB.

Pada proses simulasi akan dilakukan dengan memvariasikan 3 variabel, yaitu jumlah pompa, putaran pompa dan level tangki (ketinggian LPG di dalam *storage tank*). Artinya, setiap konfigurasi pompa akan disimulasikan pada tiap tingkat

Putaran yang telah direncanakan, dan kondisi ini akan diaplikasikan pada beberapa kondisi level tangki. Daftar detail variabel simulasi ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Variabel Simulasi

No.	Variable	Keterangan
1.	Jumlah pompa	2; 3; 4
2.	Putaran (%)	70; 75; 80; 85; 90; 95; 100
3.	Level tangki (m)	19; 12; 5

Sumber : Hasil Analisis, 2016

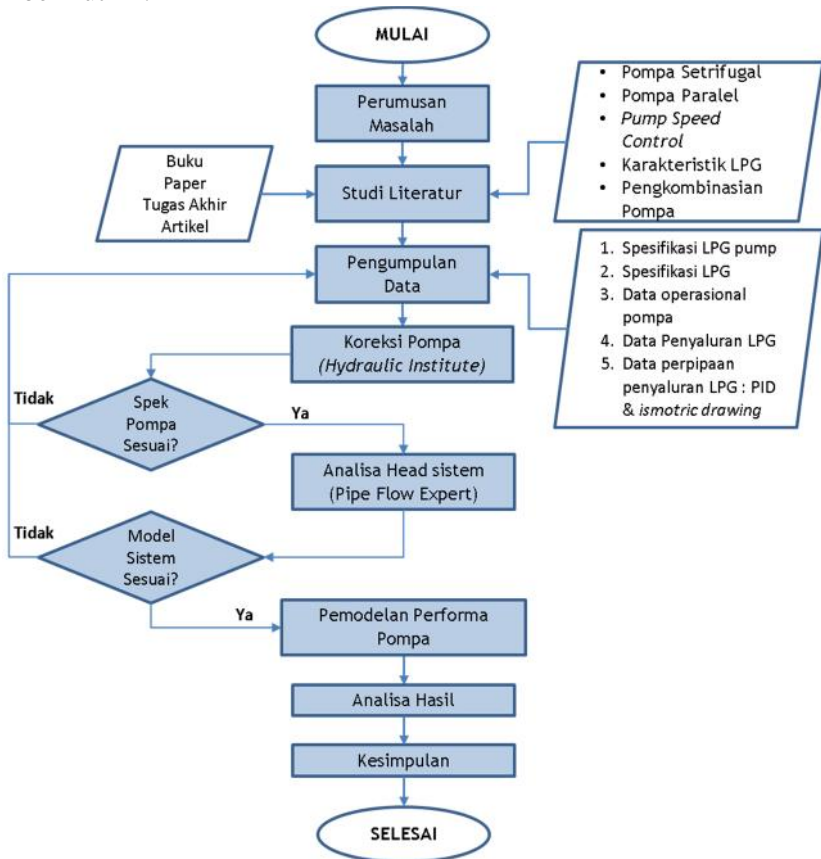
Terkait dengan variasi Putaran putaran pompa, *Barnier et al.*, 1999, menjelaskan bahwa efisiensi motor pompa (η_M) dan efisiensi *variable-frequency drive* (η_{VFD}) ditentukan oleh ratio konversi, dan apabila ratio konversi kurang dari 40 % berdampak sangat sedikit terhadap perubahan η_M dan η_{VFD} . Rasio konversi adalah rasio putaran pompa yang diatur terhadap putaran maksimum pompa (putaran desain). Oleh karena itu, variasi putaran pompa hanya dilakukan diatas 40 % putaran maksimum (Tianyi, 2012). Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi putaran pompa pada rasio 70% ke atas.

3.7. Analisis Hasil

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pemodelan terhadap seluruh konfigurasi yang direncanakan. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh konfigurasi pompa dan titik operasinya terhadap keseluruhan sistem dengan cara menghitung efisiensi sistem. Selain itu juga dilakukan analisis data hasil pemodelan terdapat beberapa batasan operasional pompa yang disyaratkan.

3.8. Kesimpulan

Pada tahapan paling akhir ini, akan disimpulkan hasil dari semua proses penelitian. Pada tahap kesimpulan ini juga akan menjawab dua masalah yang telah dirumuskan pada tahap pertama. Tahapan pengerjaan tugas akhir ini mulai dari awal hingga tahap kesimpulan sebagaimana ditunjukkan **Gambar 3.1** berikut ini.



Gambar 3.1. Flowchart Tugas Akhir

Sumber: Penulis, 2016

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum

Bab ini menguraikan langkah – langkah dalam memproses dan menganalisis data – data yang telah diperoleh, untuk mendapatkan titik kerja pompa LPG yang paling optimum. Data – data yang diperoleh antara lain spesifikasi pompa LPG, spesifikasi tangki LPG, *isometric drawing* sistem perpipaan penyaluran LPG, spesifikasi LPG yang disalurkan, serta data operasional pompa. Selanjutnya data – data tersebut akan diproses dengan software – software yang telah disediakan, yaitu *Pipe Flow Expert* untuk mendapatkan nilai head sistem dan MATLAB untuk mendapatkan titik kerja pompa berdasarkan variasi konfigurasi dan putarannya. Pada titik kerja tersebut akan diketahui debit dan head yang dihasilkan pompa pada efisiensi terbaik, yang berimbas pada *input power* yang dibutuhkan.

4.2. Kondisi Eksisting / Data

4.2.1. Pompa LPG

Terminal LPG Semarang dilengkapi dengan 4 unit pompa untuk men-*transfer* LPG dari *storage tank* ke truk *skid tank* di bangsal penyaluran. Keempat pompa tersebut adalah P-110, P-120, P-130, dan P-140 yang keempatnya terangkai secara paralel. Adapun data spesifikasinya dapat ditunjukkan pada

Tabel 4.1 Spesifikasi Pompa LPG dan *Driver* berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Pompa LPG dan *Driver*

Data Spesifikasi LPG Transfer Pump	
<i>Merk</i>	KSB Pump
<i>Series</i>	RPH 80-450
<i>Type</i>	<i>Centrifugal; Single Stage</i>
<i>Rated Flow</i>	110 m ³ /h
<i>Max Flow</i>	130 m ³ /h

Data Spesifikasi LPG Transfer Pump	
<i>Rated Head</i>	174,3 m
<i>Effective Speed</i>	2970 rpm
<i>Nominal Efficiency</i>	56.6 %
<i>Power Rating</i>	75 kW
<i>MAWP</i>	51 bar
Data Spesifikasi Electric Motor Driver	
<i>Merk</i>	WEG
<i>Drive Type</i>	<i>Electric Motor with inverter</i>
<i>Phase</i>	3 Phase
<i>Max. Power</i>	75 kW
<i>Voltage</i>	380 Volt
<i>Ampere</i>	139/80
<i>RPM</i>	2970
<i>Frequency</i>	50 Hz



Gambar 4.1. LPG transfer pump
 Sumber: Terminal LPG Semarang, 2016

4.2.2. LPG Storage Tank

Untuk menampung pasokan LPG yang akan disalurkan, Terminal LPG Semarang memiliki 4 unit LPG Storage Tank, yaitu

V-110, V-120, V-130, dan V-140. Adapun spesifikasi tangki tersebut adalah sebagai berikut:

- *Diameter* : 21216 mm
- *Capacity* : 2500 MT(\pm 4500 m³)
- *Design Pressure* : 17,24 bar
- *Operating Temp* : 5-30 °C
- *Operating Pressure* : 7-14 bar



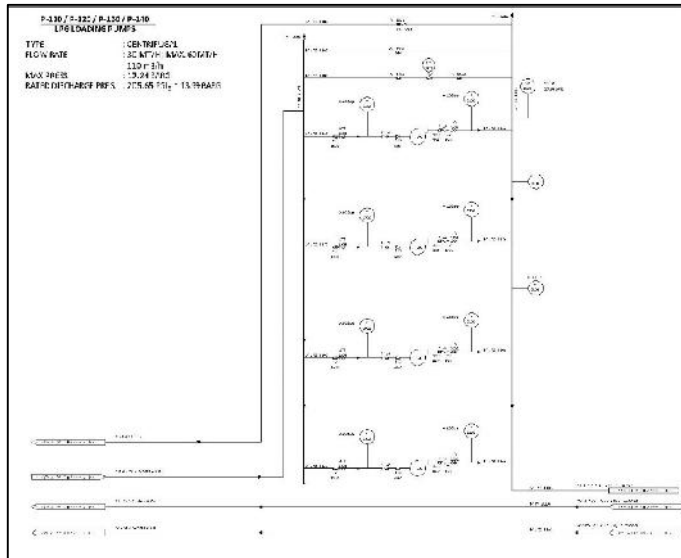
Gambar 4.2. LPG storage tank

Sumber: Terminal LPG Semarang, 2016

4.2.3. Pipa Penyaluran LPG

Salah satu komponen utama dalam sistem penyaluran LPG adalah pipa, karena pipa merupakan media untuk memindahkan LPG dari *storage tank* dan bangsal penyaluran. Adapun spesifikasi sistem perpipaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Specification* : LPG Piping
- *Type* : Seamless
- *Material* : API 5L Grade B
- *SMYS* : 35000 psi
- *Nominal Pipe Size* : 4, 6, 8, dan 12
- *Outside Dia. (inch)* : 4.5, 6.63, 8.63, dan 12.75
- *Wallthickness (inch)* : 0.24, 0.28, 0.32, dan 0.41



Gambar 4.3. PID Pompa LPG

Sumber: Terminal LPG Semarang, 2016

4.2.4. Spesifikasi LPG

Tersedia berbagai macam jenis LPG di dunia industri. Pada umumnya dibedakan berdasarkan perbandingan komposisi antara Propana dan Butana yang terkandung di dalamnya. Spesifikasi LPG yang diterima dan disalurkan oleh Terminal LPG Semarang adalah sebagai berikut:

- Type : LPG mix
- Composition : 50:50 (Propane:Butane)
- Kinematic Visc. : 0.32 cSt
- Specific Gravity : 0.541 ~ 0.545
- Temperature : 20 – 25 °C
- RVP : 120 psi
- Flash Point : -103 °C
- Boiling Point : - 42 (Propane – 1 bar)
- 0.5 (Butane – 1 bar)

4.2.5. Operasional Penyaluran LPG

Titik kunci keberlangsungan penyaluran LPG di Terminal LPG Semarang adalah pengoperasian pompa LPG. Saat ini sistem penggiliran pompa LPG adalah dengan membagi 4 unit pompa LPG menjadi 2 kelompok, yaitu P-110 dengan P-120 dan P-130 dengan P-140. Dua kelompok kombinasi ini akan bergantian setiap hari dan pihak operator pun hanya mengoperasikan pompa – pompa pada kombinasi tersebut. Selain itu, berdasarkan data operasional, pompa – pompa tersebut hanya dioperasikan pada beberapa tingkat putaran yaitu, 50%, 75 %, dan 100%. Namun, ternyata istilah prosentase ini bukan merupakan prosesntase putaran pompa yang sesungguhnya terhadap putaran nominalnya. Karena nilai 100% yang dicatat oleh operator pada *logsheet* operasional pompa, bernilai 80% dari Putaran nominal pompa. Padahal pompa tersebut mampu untuk dioperasikan berbagai tingkat putaran, kerena telah dilengkapi dengan *variable speed driver*.

4.3. Koreksi Performa Pompa

Berdasarkan metode HI, tahap pertama harus menghitung nilai ***parameter B***, dengan rumus sebagai berikut:

$$B = 16.5 \times \frac{(V_v)^{0.5} \times (H_B - W)^{0.0}}{(Q_B - W)^{0.3} \times N^{0.2}}$$

Keterangan:

B = Faktor koreksi

V_{vis} = Viskositas kinematik fluida yang dipompa (cSt)
= 0,32 cSt

H_{BEP-W} = Head pompa pada air (m) = 174 m

Q_{BEP-W} = Debit pompa pada air (m³/h) = 110 m³/h

N = Putaran pompa (RPM) = 2970 RPM

Sehingga:

$$B = 16.5 \times \frac{(V_v)^{0.5} \times (H_B - W)^{0.0}}{(Q_B - W)^{0.3} \times N^{0.2}}$$

$$B = 16.5 \times \frac{(0.32)^{0.5} \times (174)^{0.0}}{(110)^{0.3} \times 2970^{0.2}}$$

$$B = 0.3$$

Metode HI menjelaskan bahwa, apabila nilai $B = 1$, maka tidak ada koreksi yang diberlakukan terhadap performa pompa. Oleh karena itu, *Head* (H), Debit (Q), dan Efisiensi () pompa ketika mengalirkan LPG sama dengan nilai yang tertera pada spesifikasi pompa.

4.4. Menghitung *Head* Sistem Penyaluran LPG

Untuk melakukan Analisis terhadap kinerja pompa terlebih dahulu harus diketahui nilai head sistem termasuk harus diperoleh *System Head Curve*. Pada penelitian ini digunakan software *Pipe Flow Expert* untuk mendapatkan kurva tersebut. Kurva diperoleh dengan cara mensimulasikan sistem yang dianalisis pada setiap tingkap debit aliran LPG.

Analisis dan perhitungan *head* dilakukan terhadap sistem penyaluran LPG yang terdiri dari *storage tank* LPG, *pump house*, dan bangsal penyaluran. Oleh karena itu berdasarkan *isometric drawing* yang diperoleh, dilakukan penggambaran ulang di software *Pipe Flow Expert*. Gambar ulang dibuat sama dengan gambar dan data sistem yang tercantum pada *isometric drawing* (**Gambar 4.9**) maupun PID. Adapun data yang di-input ke *Pipe Flow Expert* adalah:

a. *Layout* sistem penyaluran LPG.

Layout ini menggambarkan posisi subsistem – subsistem pada sistem penyaluran LPG, sehingga dapat dengan mudah dilihat posisi *storage tank*, posisi pompa, jalur pipa, hingga posisi bangsal pengisian, seperti ditunjukkan **Gambar 4.10**.

b. Diameter pipa

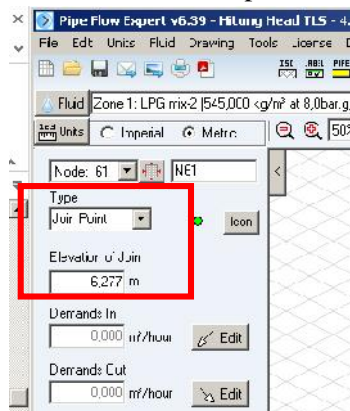
Data diameter menjadi salah satu data sangat penting dalam proses perhitungan *system head*. Karena pipa – pipa sistem penyaluran LPG ini terdiri dari berbagai diameter pipa yang tentu berdampak pada perbedaan Putaran aliran LPG. Seperti pipa *output* dari *storage tank* berdiameter 4”, pipa penyalur utama hingga *suction header* pompa berdiameter 12”, pipa 6” pada *suction* pompa, 4” untuk *discharge* pompa, dan 8” pada pipa penyalur ke bangsal pengisian serta pipa pada bangsal pengisian yang hanya berdiameter 3”.

c. Panjang pipa

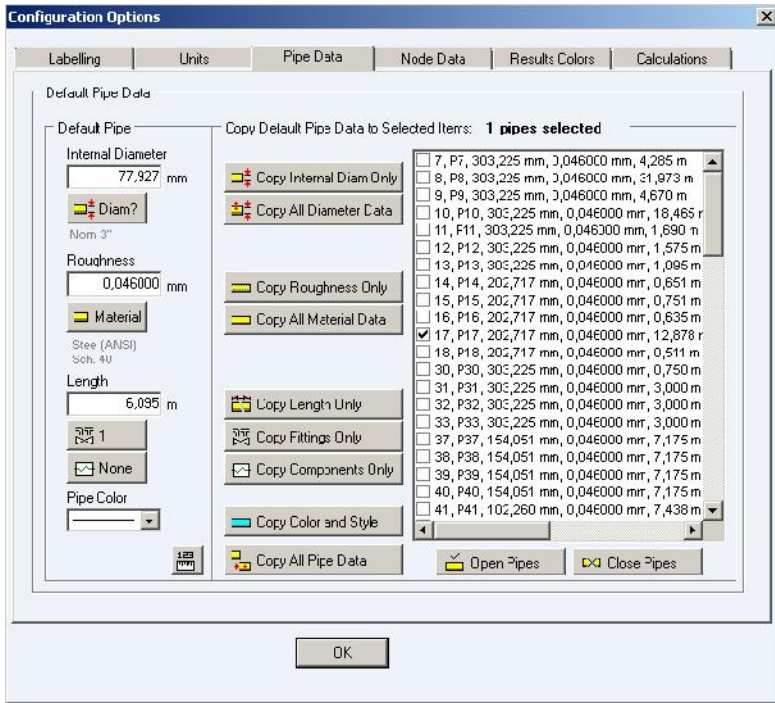
Data panjang pipa digunakan sebagai salah satu parameter perhitungan *system head* yang mempengaruhi nilai *friction loss*. Daftar pipa sistem penyaluran LPG ditunjukkan pada **Gambar 4.5** di bawah ini.

d. Elevasi sistem perpipaan

Data elevasi juga harus di-input-kan ke *Pipe Flow Expert* secara presisi agar nilai *static head* diperoleh secara tepat.



Gambar 4.4. Input Elevasi Pipa pada *Pipe Flow Expert*
Sumber: *Pipe Flow Expert*, 2016



Gambar 4.5. Daftar Data Pipa Sistem Penyaluran LPG
 Sumber: *Pipe Flow Expert*, 2016

e. Jenis dan jumlah *fitting* pipa

Fitting atau aksesoris pipa harus diinputkan secara detail baik jenis maupun jumlahnya pada *software*, karena memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai *system head* yang dihasilkan dari simulasi. Banyak sekali aksesoris pada sistem perpipaan penyalur LPG ini, seperti *shutdownvalve*, *check valve*, *elbow*, *tee*, *flexible joint*, *mass-flow meter*, dsb. Pada **Gambar 4.6** berikut ini data *fitting* pada salah satu segmen pipa.

Pipe fitting friction coefficients

Fittings on: P41, Steel (AISI), 100 mm ID=102.350 mm (Pipe ID: 41)

Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K value	Qty
Check	3/4" x 1/2"	118.1 mm	4"	Water Check Valve	3,2911	1
Tee	100 mm	4"		Tee - Enlarging in Run	1,3000	1
3/4" x 1/2"	100 mm	4"		Gradual enlargement	0,4600	1
Flex	100 mm	4"		Flexible Joint	1,7600	1
Ball R3	100 mm	4"		Ball Valve Reduced Bore	1,3000	1

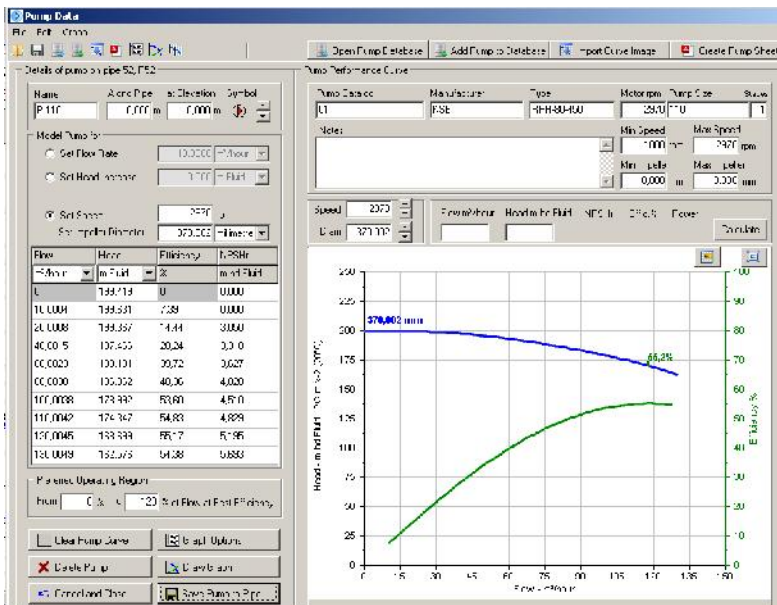
Total K = 7.44

Save Clear Cancel

Gambar 4.6. Daftar *Fitting* Salah Satu Segmen PipaSumber: *Pipe Flow Expert*, 2016

f. Data Pompa

Simulasi pada *Pipe Flow Expert* memerlukan *input* pompa sebagai sumber aliran fluida. Oleh karena itu seluruh data karakteristik pompa LPG yang digunakan di TLS juga di-*input*-kan ke *software*. **Gambar 4.7** berikut ini merupakan data pompa penyaluran LPG.



Gambar 4.7. Data Pompa LPG

Sumber: *Pipe Flow Expert*, 2016

g. Data LPG

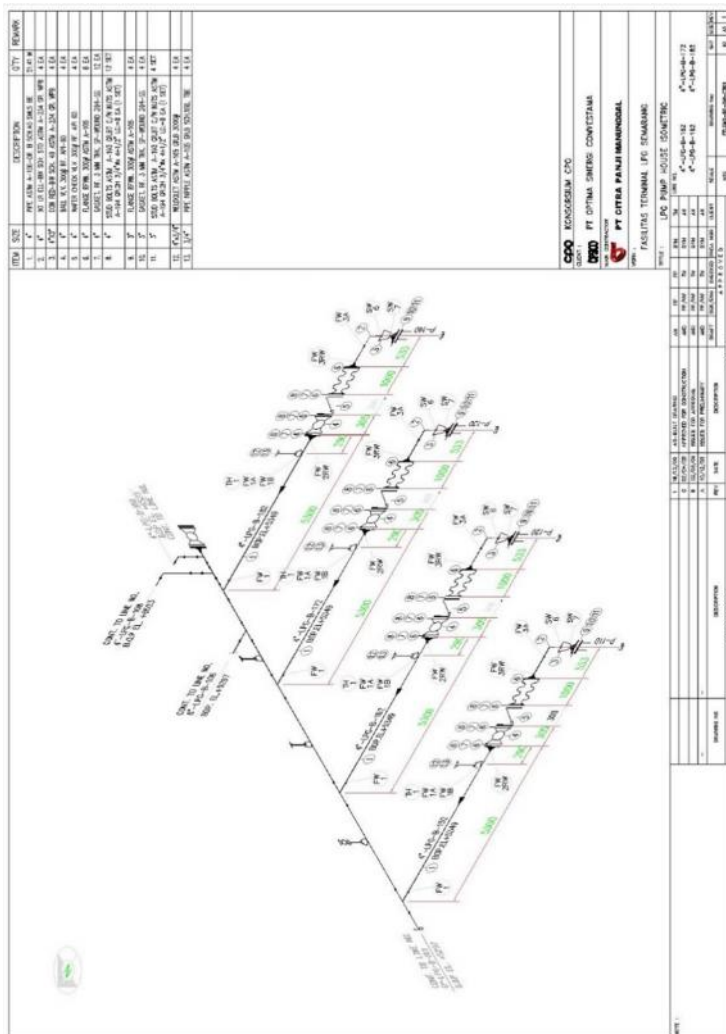
Data spesifikasi fluida kerja harus pula dipastikan telah benar diinputkan, yang dalam hal ini adalah LPG *Mix*. Berikut ini data LPG *Mix* sebagai fluida kerja simulasi.

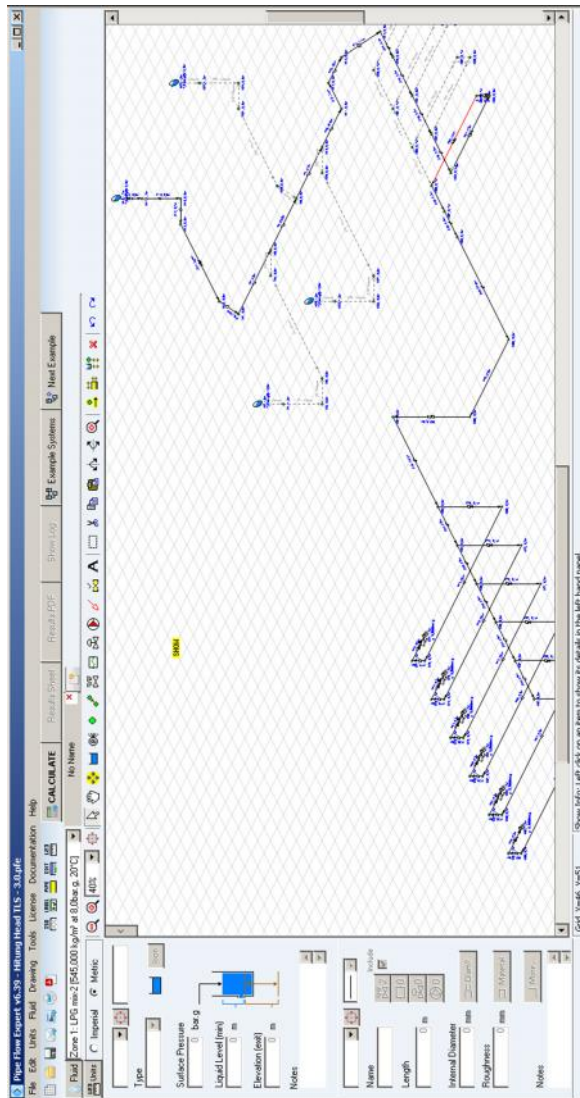
Fluid data							
Fluid properties:							
Name	Formula	Temperature °C	Pressure bar c	Density kg/m ³	Viscosity Centipoise	Vapour Press. (Pa abs)	State
LPG mix-2	LPG	20.0	8.0000	545.000	0.1740	827.370	Liq <input type="checkbox"/>

Gambar 4.8. Data Sifat Fluida
Sumber: *Pipe Flow Expert*, 2016

Simulasi *system head* pada *Pipe Flow Expert* tersebut dilakukan pada beberapa batasan kondisi, yaitu:

- Tangki LPG yang digunakan untuk simulasi adalah tangki V-120. Karena tangki ini merupakan tangki terjauh pada sistem penyaluran LPG jika dibandingkan 3 tangki LPG yang lain.
- Tekanan di dalam tangki LPG diasumsikan 7 bar (sesuai dengan data tekanan operasi tangki)
- Simulasi dilakukan pada 3 variasi ketinggian fluida (LPG) di dalam tangki, yaitu pada ketinggian 19 m, 12 m, dan 5 m. Hal ini dilakukan untuk melihat karakteristik sistem pada beberapa level ketinggian fluida di dalam tangki, karena tangki LPG tersebut berdiameter 20 m. Sehingga sangat berpotensi untuk memberikan pengaruh yang besar terhadap titik kinerja pompa.
- Discharge Pressure* pada bangsal penyaluran LPG diasumsikan sebesar 9 bar.
- Perhitungan *system head* dilakukan pada kondisi paralel 2 dan 3 pompa. Sehingga akan diperoleh 2 *system curve*, yaitu *system curve* saat sistem beroperasi dengan 2 pompa dan 3 pompa.





Gambar 4.10. Penggambaran Ulang Sistem Penyaluran LPG
Sumber: Pipe Flow Expert, 2016

Proses simulasi dapat dilakukan terhadap sistem dengan menggunakan hasil penggambaran ulang tersebut. Untuk mendapatkan kurva head sistem penyaluran LPG, dilakukan simulasi aliran LPG pertingkat perubahan debit. Sehingga diperoleh besaran *system head* pertingkat debit LPG. Data hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada **Tabel 4.2** & **Tabel 4.3** di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil simulasi *system head* penyaluran LPG menggunakan 2 pompa.

No	Q (m ³ /h)	Q (kg/min)	H (m)		
			H = 19 m	H = 12 m	H = 5 m
1	0,000	0,000	19,594	26,594	33,594
2	30,000	272,490	22,045	29,045	36,045
3	45,806	416,057	25,000	32,000	39,000
4	60,000	544,980	29,187	36,187	43,187
5	90,000	817,470	40,498	47,498	54,498
6	108,504	985,539	50,000	57,000	64,000
7	120,000	1089,960	56,956	63,956	70,956
8	146,465	1330,345	75,000	82,000	89,000
9	150,000	1362,450	77,861	84,861	91,861
10	176,290	1601,246	100,000	107,000	114,000
11	180,000	1634,940	103,292	110,292	117,292
12	201,850	1833,406	125,000	132,000	139,000
13	210,000	1907,430	133,956	140,956	147,956
14	224,463	2038,799	150,000	157,000	164,000
15	240,000	2179,920	168,633	175,633	182,633
16	245,129	2226,505	175,000	182,000	189,000
17	257,166	2335,840	190,591	197,591	204,591

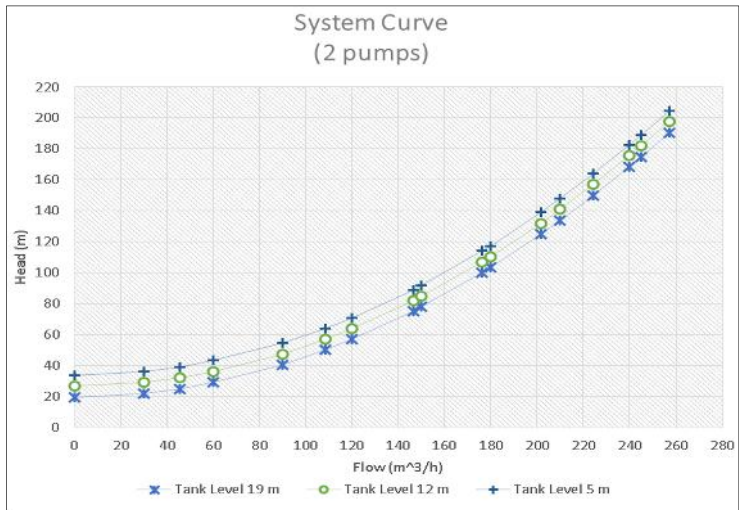
Sumber: Hasil Analisis, 2016

Tabel 4.3 Hasil simulasi *system head* penyaluran LPG menggunakan 3 pompa.

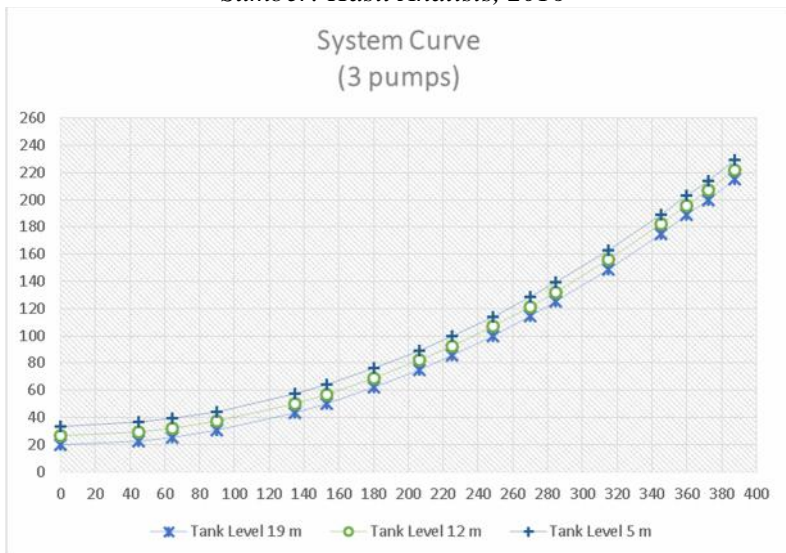
No	Q (m ³ /h)	Q (kg/min)	H (m)		
			H = 19 m	H = 12 m	H = 5 m
1	0,000	0,000	19,576	26,576	33,576
2	45,000	408,735	22,279	29,279	36,279
3	64,333	584,335	25,000	32,000	39,000
4	90,000	817,470	30,292	37,292	44,292
5	135,000	1226,205	43,274	50,274	57,274
6	153,123	1390,818	50,000	57,000	64,000
7	180,000	1634,940	61,952	68,952	75,952
8	206,307	1873,887	75,000	82,000	89,000
9	225,000	2043,675	85,636	92,636	99,636
10	248,482	2256,960	100,000	107,000	114,000
11	270,000	2452,410	114,497	121,497	128,497
12	284,472	2583,861	125,000	132,000	139,000
13	315,000	2861,145	149,052	156,052	163,052
14	345,311	3136,461	175,000	182,000	189,000
15	360,000	3269,880	188,802	195,802	202,802

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh *system curve* sistem penyaluran LPG TLS yang ditunjukkan pada **Gambar 4.11 & Gambar 4.12** dibawah ini, baik untuk kondisi paralel 2 maupun 3 pompa.



Gambar 4.11. Kurva *Head System*– 2 pompa
Sumber: Hasil Analisis, 2016



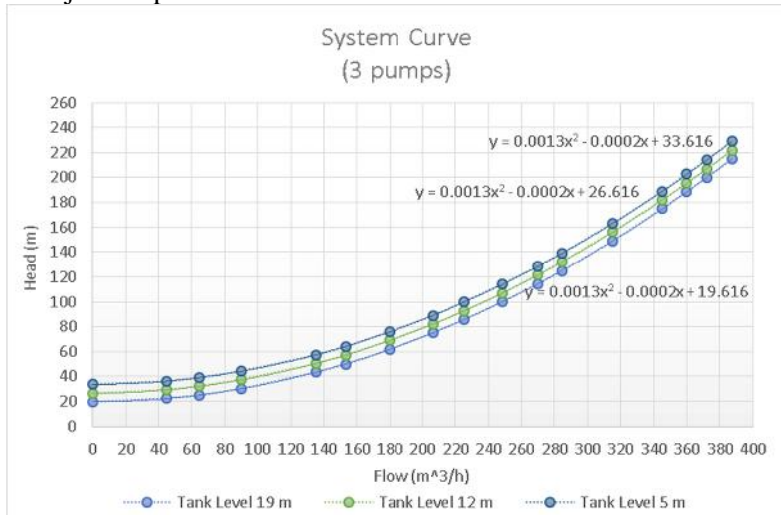
Gambar 4.12. Kurva *Head System* – 3 pompa
Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.5. Menentukan Kurva Sistem & Kurva Pompa

Untuk dapat melakukan pemodelan pada software MATLAB, terlebih dahulu harus diketahui persamaan matematis sistem penyaluran LPG (*system curve*) dan pompa (*pump curve*). Persamaan – persamaan tersebut akan digunakan untuk melakukan *plotting* di MATLAB untuk mendapatkan titik kerja pompa yang presisi. Seluruh persamaan kurva pada semua kondisi pemodelan harus diketahui. Misal, persamaan *system curve* pada semua level tangki, baik pada saat paralel 2 pompa maupun 3 pompa, begitu juga dengan persamaan *pump curve* pada semua konfigurasi dan seluruh tingkat Putaran pompa.

4.5.1. Kurva Sistem

Persamaan *system curve* diperoleh dengan cara membuat *trendline* pada masing - masing garis *system curve* pada Ms. Excel. Berdasarkan *trendline* ini dapat diperoleh persamaan matematis masing - masing kurva tersebut. Proses tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.13** berikut.



Gambar 4.13 *System curve* dan persamaan matematisnya

Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.5.2. Kurva Pompa

Persamaan matematis *pump curve* harus merupakan persamaan pada kondisi pompa paralel, sedangkan data yang ada hanya kurva pompa *single*. Untuk mendapatkan kurva dan persamaan matematis pompa paralel tersebut dapat dilakukan dengan rumusan berikut (Sike, 2012):

Pers. (1)

$$H_{N,i} = \alpha_0 \left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2 + \frac{1}{N} \alpha_1 \left(\frac{n_i}{n_0} \right) q_v + \frac{1}{N^2} \alpha_2 q_v^2$$

Keterangan:

H	= Pump Head (m)
n_i	= Putaran yang diatur
n_0	= Putaran nominal
N	= jumlah pompa
q_v	= debit pompa (m ³ /h)
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	= koefisien pompa

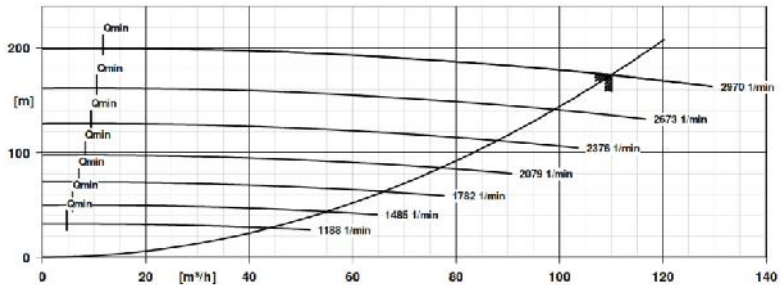
Rumusan yang diberikan oleh Sike, 2012, tersebut dapat mengakomodir perubahan jumlah pompa, sekaligus perubahan Putaran putaran pompa. Terdapat dua tahap yang harus dilalui untuk mendapatkan persamaan matematis pompa paralel berdasarkan rumusan di atas, yaitu:

a. Menentukan nilai $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$

Nilai $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ merupakan koefisien pompa yang diperoleh dari data – data pompa (kurva karakteristik pompa). Sike, 2012, menjelaskan bahwa nilai $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ ini dapat diperoleh dengan menggunakan metode kuadrat error terkecil (*least square method*). Untuk menghitung metode tersebut dapat digunakan pendekatan matriks dengan bantuan software MATLAB.

Perhitungan nilai $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ dilakukan pada seluruh tingkat putaran pompa yang akan diuji. Proses perhitungan tersebut ditunjukkan pada lampiran. **Gambar 4.14** di bawah ini

merupakan kurva pompa (pompa *single*) yang menjadi dasar perhitungan nilai η_0 , η_1 , η_2 sebagai koefisien pompa dan pada tabel berikutnya ditunjukkan hasil pembacaan salah satu kurva sebagai bahan perhitungan η_0 , η_1 , η_2 , yaitu kurva pompa pada Putaran 2673 RPM atau 90 % putaran nominal.



Gambar 4.14 Kurva karakteristik pompa
Sumber: KSB Pump, 2016

Tabel 4.4. Hasil pembacaan kurva karakteristik pompa

No	n_0 (RPM)	n_i (RPM)	N	q_v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2673	1	0	161.6258	0.81	0	0
2	2970	2673	1	5	161.7841	0.81	4.5	25
3	2970	2673	1	10	161.7841	0.81	9	100
4	2970	2673	1	15	161.6258	0.81	13.5	225
5	2970	2673	1	20	161.3091	0.81	18	400
6	2970	2673	1	25	161.1507	0.81	22.5	625
7	2970	2673	1	30	160.7284	0.81	27	900
8	2970	2673	1	35	160.0422	0.81	31.5	1225
9	2970	2673	1	40	159.3032	0.81	36	1600
10	2970	2673	1	45	158.4587	0.81	40.5	2025

No	n ₀ (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
11	2970	2673	1	50	157.3502	0.81	45	2500
12	2970	2673	1	55	155.9778	0.81	49.5	3025
13	2970	2673	1	60	154.9749	0.81	54	3600
14	2970	2673	1	65	153.6025	0.81	58.5	4225
15	2970	2673	1	70	152.2829	0.81	63	4900
16	2970	2673	1	75	150.4883	0.81	67.5	5625
17	2970	2673	1	80	148.7464	0.81	72	6400
18	2970	2673	1	85	147.0573	0.81	76.5	7225
19	2970	2673	1	90	145.0515	0.81	81	8100
20	2970	2673	1	95	142.9929	0.81	85.5	9025
21	2970	2673	1	100	140.7231	0.81	90	10000
22	2970	2673	1	105	138.2951	0.81	94.5	11025
23	2970	2673	1	110	135.867	0.81	99	12100
24	2970	2673	1	115	133.1222	0.81	103.5	13225
25	2970	2673	1	120	130.3246	0.81	108	14400

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Nilai X_1 , X_2 , X_3 pada **Tabel 4.4** merupakan komponen dari persamaan (1) diatas, yang digunakan untuk membentuk komponen matriks untuk menghitung α_0 , α_1 , α_2 . Adapun nilai X_1 , X_2 , X_3 adalah sebagai berikut:

$$X_1 = \left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2$$

$$X_2 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_i}{n_0} \right) q_v$$

$$X_3 = \frac{1}{N^2} q_v^2$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$

Putaran Pompa (%)	α_0	α_1	α_2
100	199.3919	0.0499	-0.0025
95	200.0280	0.0464	-0.0025
90	199.5460	0.0445	-0.0025
85	200.2040	0.0457	-0.0025
80	199.4292	0.0496	-0.0025
75	200.2858	0.0475	-0.0025
70	199.2181	0.0539	-0.0026

Sumber: Hasil Analisis, 2016

b. Menentukan persamaan matematis pompa paralel

Berdasarkan nilai $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ (Tabel 4.5), selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persamaan matematis pompa paralel sesuai dengan persamaan (1). Apabila dijabarkan berdasarkan bentuk dasar persamaan kuadrat ($y = ax^2 + b + c$), persamaan (1) di atas akan diperoleh komponen persamaan sebagai berikut:

$$H_{N,i} = \alpha_0 \left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2 + \frac{1}{N} \alpha_1 \left(\frac{n_i}{n_0} \right) q_v + \frac{1}{N^2} \alpha_2 q_v^2$$

$$a = \frac{1}{N^2} \alpha_2$$

$$b = \frac{1}{N} \alpha_1 \left(\frac{n_i}{n_0} \right)$$

$$c = \alpha_0 \left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2$$

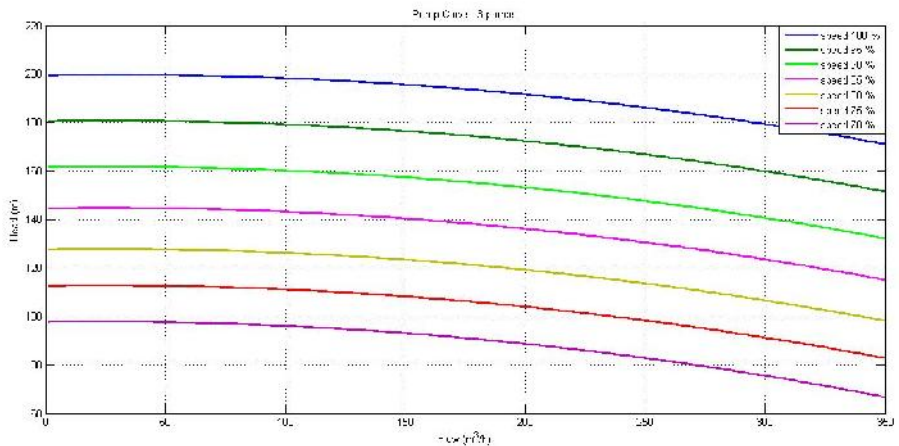
Oleh karena itu persamaan matematis untuk seluruh konfigurasi jumlah dan putaran pompa (yang diwakili oleh nilai **a**, **b**, dan **c**), dapat dilihat pada **Tabel 4.6**, serta kurva – kurva pompa paralel (3 pompa) pada semua tingkat Putaran ditunjukkan oleh **Gambar 4.15** di bawah ini.

Tabel 4.6 Persamaan Matematis *Pump Curve*

Konfigurasi Pompa		Persamaan Matematis		
Jumlah	Putaran (%)	a	b	c
2	100	-0.00063	0.02495	199.3919
2	95	-0.00063	0.02204	180.5253
2	90	-0.00063	0.020025	161.6323
2	85	-0.00063	0.019423	144.6474
2	80	-0.00063	0.01984	127.6347
2	75	-0.00063	0.017813	112.6608
2	70	-0.00065	0.018865	97.61687
3	100	-0.00028	0.016633	199.3919
3	95	-0.00028	0.014693	180.5253
3	90	-0.00028	0.01335	161.6323
3	85	-0.00028	0.012948	144.6474
3	80	-0.00028	0.013227	127.6347
3	75	-0.00028	0.011875	112.6608
3	70	-0.00029	0.012577	97.61687
4	100	-0.00016	0.012475	199.3919
4	95	-0.00016	0.01102	180.5253
4	90	-0.00016	0.010013	161.6323
4	85	-0.00016	0.009711	144.6474
4	80	-0.00016	0.00992	127.6347

Konfigurasi Pompa		Persamaan Matematis		
Jumlah	Putaran (%)	a	b	c
4	75	-0.00016	0.008906	112.6608
4	70	-0.00016	0.009433	97.61687

Sumber: Hasil Analisis, 2016



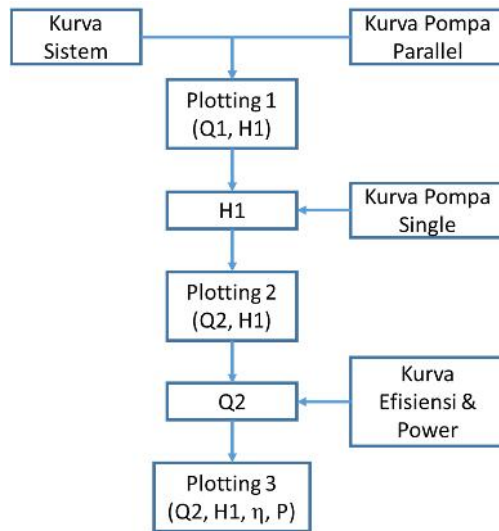
Gambar 4.15. Parallel pump curves – 3 pumps

Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.6. Pemodelan MATLAB

Pemodelan untuk mendapatkan titik kerja rangkaian pompa LPG ini dilakukan berdasarkan kurva – kurva sistem dan kurva pompa dalam kondisi paralel. Kedua kurva tersebut selanjutnya di-plotting pada software MATLAB untuk mendapatkan titik kerja rangkaian pompa yang presisi.

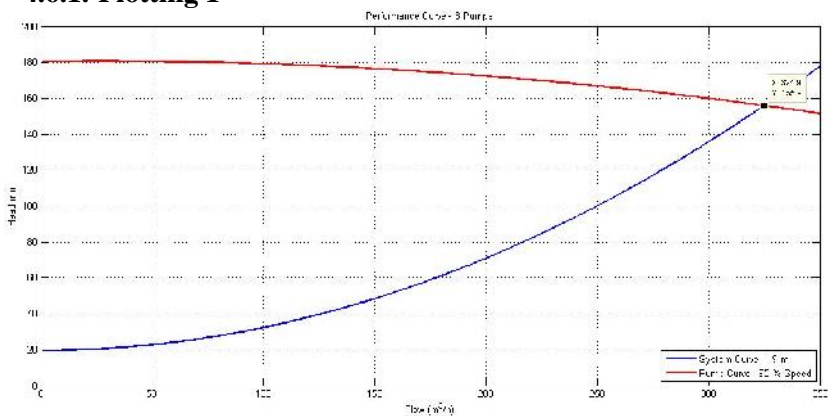
Adapun rangkaian pemodelan konfigurasi pompa – pompa adalah sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 4.16. Diagram Alir Pemodelan

Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.6.1. Plotting 1



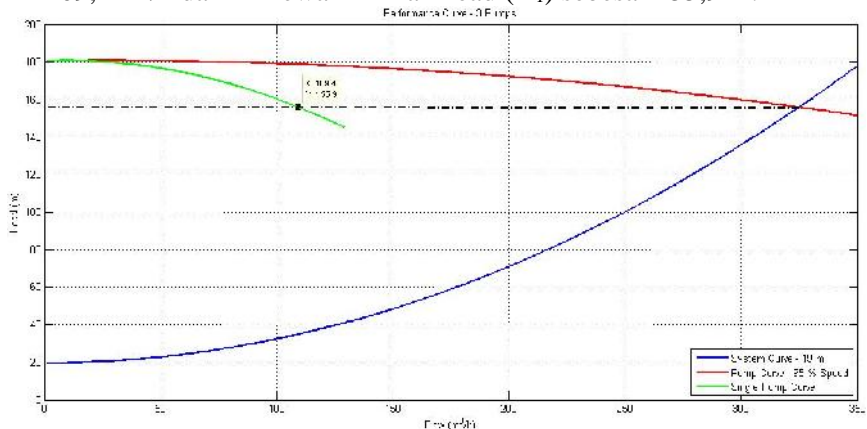
Gambar 4.17. Hasil Plotting Kurva Sistem vs Kurva Pompa Paralel

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Pada tahap pertama pemodelan dilakukan *plotting* kurva pompa paralel dan kurva sistem pada MATLAB, sehingga diperoleh titik kerja rangkaian pompa berupa Debit Paralel (Q_1) dan Head (H_1). Pada **Gambar 4.17** di atas ditunjukkan hasil *plotting* salah satu konfigurasi, yaitu konfigurasi 3 pompa pada putaran 95 %, dengan kondisi tangki berada pada level 19 m. Titik (X, Y) pada grafik di atas merupakan titik kerja konfigurasi ini, yaitu X mewakili Debit Total (Q_1) sebesar 324,9 m³/h dan Y mewakili nilai Head (H_1) sebesar 155,9 m.

4.6.2. Plotting 2

Nilai Head (H_1) di-*plot*-kan pada kurva pompa tunggal untuk mendapatkan titik kerja masing – masing pompa, yaitu Debit (Q_2) dan Head (H_1). Kurva pompa tunggal yang digunakan sesuai dengan putaran konfigurasi pompa yang dimodelkan. Pada **Gambar 4.18**, ditunjukkan *plotting* pada konfigurasi 3 pompa pada putaran 95 %, dengan kondisi tangki berada pada level 19 m. Titik (X, Y) pada grafik merupakan titik kerja masing – masing pompa pada konfigurasi ini, yaitu X mewakili Debit (Q_2) sebesar 109,4 m³/h dan Y mewakili nilai Head (H_1) sebesar 155,9 m.



Gambar 4.18. Hasil *Plotting* terhadap Kurva Pompa Tunggal

Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.6.3. Plotting 3

Nilai Debit (Q_2) selanjutnya di-plot-kan pada kurva efisiensi dan *power input*, untuk mendapatkan nilai efisiensi dan *power* yang dibutuhkan masing - masing pompa pada setiap perubahan konfigurasi.

Berikut ini, **Tabel 4.7**, **Tabel 4.8**, **Tabel 4.9**, merupakan hasil pemodelan seluruh konfigurasi pompa pada semua level tangki. Pada setiap konfigurasi ditunjukkan besaran debit total pompa, *head* pompa, debit masing – masing pompa, efisiensi pompa dan *power input* yang dibutuhkan oleh setiap pompa.

Tabel 4.7 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 19 m

Level Tangki 19 m						
Konfigurasi Pompa		Q_1 (m^3/h)	H_1 (m)	Q_2 (m^3/h)	Eff (%)	P_{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
2	100	240.7	169.2	120.327	55.148	54.753
2	95	227.7	153.4	113.352	55.040	46.999
2	90	213.7	137.4	106.788	54.901	39.506
2	85	200.7	123.4	100.286	54.839	33.585
2	80	186.9	109.6	93.240	54.670	27.665
2	75	173.6	97.12	86.290	54.430	22.975
2	70	159.4	84.92	77.513	53.937	18.103
3	100	343.7	172.2	114.748	55.078	53.181
3	95	324.9	155.9	109.400	54.886	45.977
3	90	305.1	139.8	101.803	54.646	38.694
3	85	286.5	125.5	95.629	54.515	32.826
3	80	266.8	111.4	88.910	54.353	26.879
3	75	247.5	98.57	82.538	53.944	22.399

Level Tangki 19 m						
Konfigurasi Pompa		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
3	70	226.5	85.7	75.344	53.728	17.893
4	100	356.3	183.6	90.082	51.499	47.653
4	95	336.8	166.2	85.025	51.229	41.104
4	90	316.4	148.9	79.823	51.005	34.712
4	85	297.1	133.5	74.995	50.651	29.446
4	80	276.5	118.2	69.878	50.404	24.338
4	75	256.6	104.5	64.702	49.733	20.251
4	70	235.5	91.03	58.109	48.344	16.243

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Tabel 4.8 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 12 m

Level Tangki 12 m						
Konfigurasi Pompa		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
2	100	236.1	170.4	118.130	55.132	54.098
2	95	222.8	154.7	110.835	54.970	46.344
2	90	208.5	138.7	104.120	54.893	38.956
2	85	195.1	124.7	97.431	54.654	33.035
2	80	180.9	110.8	90.379	54.608	27.115
2	75	167.1	98.38	83.040	54.168	22.451
2	70	152.3	86.17	74.004	53.428	17.683
3	100	337.1	173.4	112.432	55.063	52.579
3	95	317.9	157.1	106.016	54.808	45.191

Level Tangki 12 m						
Konfigurasi Pompa		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
3	90	297.6	141	99.208	54.623	37.934
3	85	278.5	126.7	92.853	54.400	32.171
3	80	258.1	112.5	86.146	54.176	26.486
3	75	238.2	99.72	79.423	53.528	21.927
3	70	216.4	86.87	71.956	53.050	17.448
4	100	349.4	184.3	88.315	50.959	47.339
4	95	329.5	166.9	83.165	50.612	40.790
4	90	308.6	149.6	77.846	50.288	34.319
4	85	288.7	134.2	72.879	49.956	29.158
4	80	267.5	118.9	67.575	49.439	24.102
4	75	246.9	105.2	62.216	48.514	20.067
4	70	224.8	91.71	55.469	47.195	16.007

Sumber: Hasil Analisis, 2016

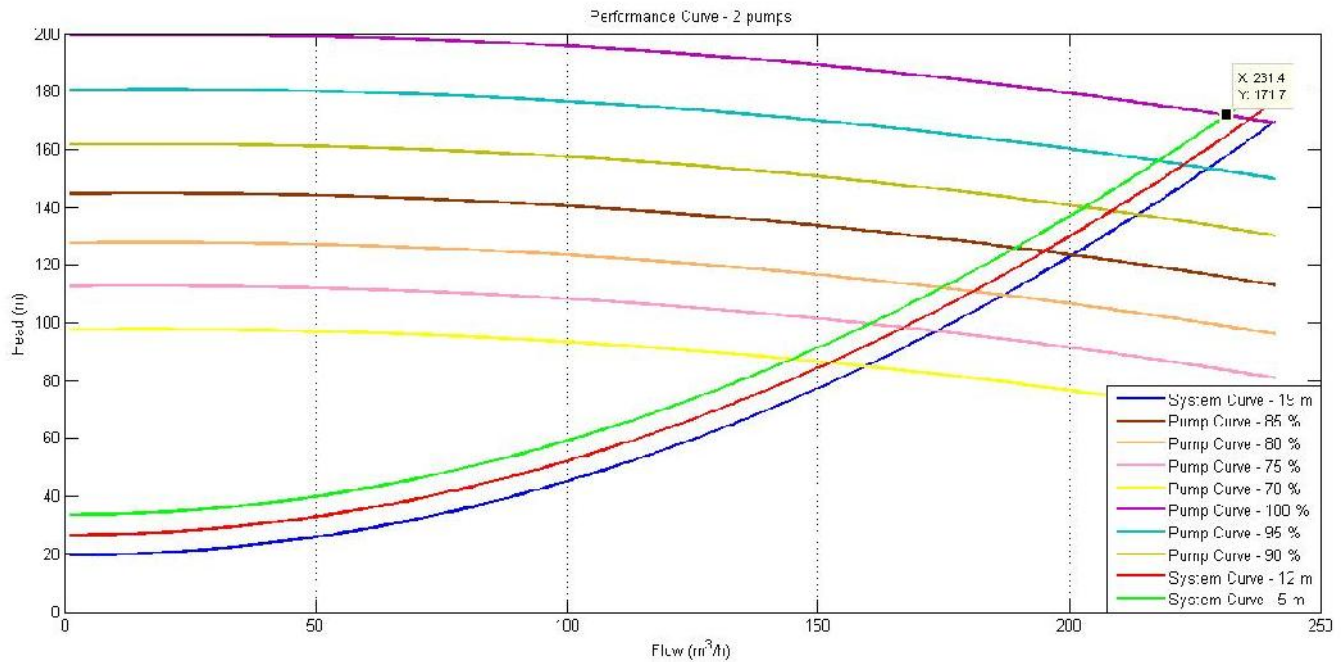
Tabel 4.9 Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 5 m

Level Tangki 5 m						
Konfigurasi Pompa		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
2	100	231.4	171.7	115.698	55.094	53.365
2	95	217.8	155.9	108.454	54.932	45.793
2	90	203.1	139.9	101.589	54.832	38.484
2	85	189.4	126	94.483	54.469	32.459
2	80	174.6	112.1	87.163	54.338	26.669

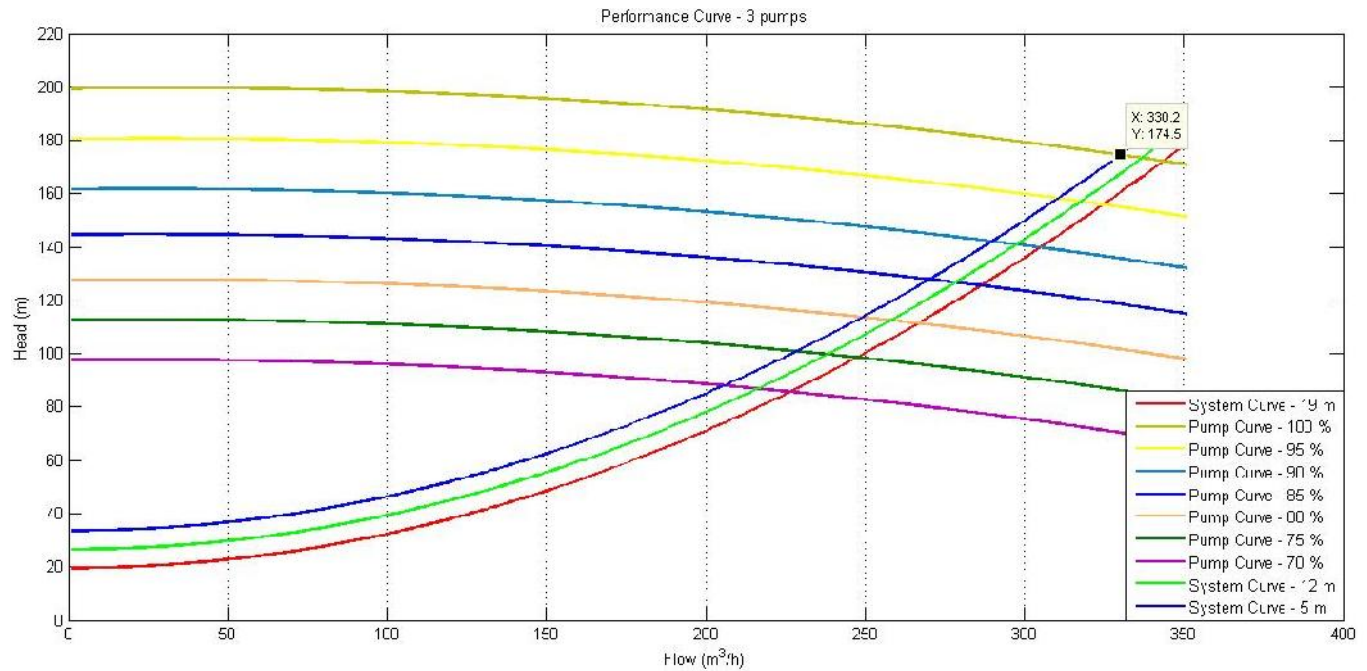
Level Tangki 5 m						
Konfigurasi Pompa		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)
Jumlah	Putaran (%)					
2	75	160.3	99.64	79.644	53.628	21.954
2	70	144.8	87.41	70.330	52.702	17.317
3	100	330.3	174.5	110.261	54.940	52.002
3	95	310.7	158.2	103.726	54.538	44.693
3	90	290	142.1	96.763	54.400	37.410
3	85	270.3	127.8	90.227	54.114	31.699
3	80	249.2	113.7	83.015	53.628	25.988
3	75	228.5	100.9	76.082	53.073	21.534
3	70	205.7	88.04	68.379	52.193	17.133
4	100	342.3	185	86.507	50.442	47.025
4	95	322.1	167.6	81.258	50.018	40.528
4	90	300.6	150.3	75.812	49.663	34.109
4	85	280.2	134.9	70.692	49.239	28.922
4	80	258.3	119.6	65.180	48.467	23.761
4	75	236.8	105.9	59.614	47.403	19.779
4	70	213.7	92.39	52.676	45.652	15.745

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Berikut ini merupakan grafik *performance curve* gabungan untuk seluruh pemodelan.

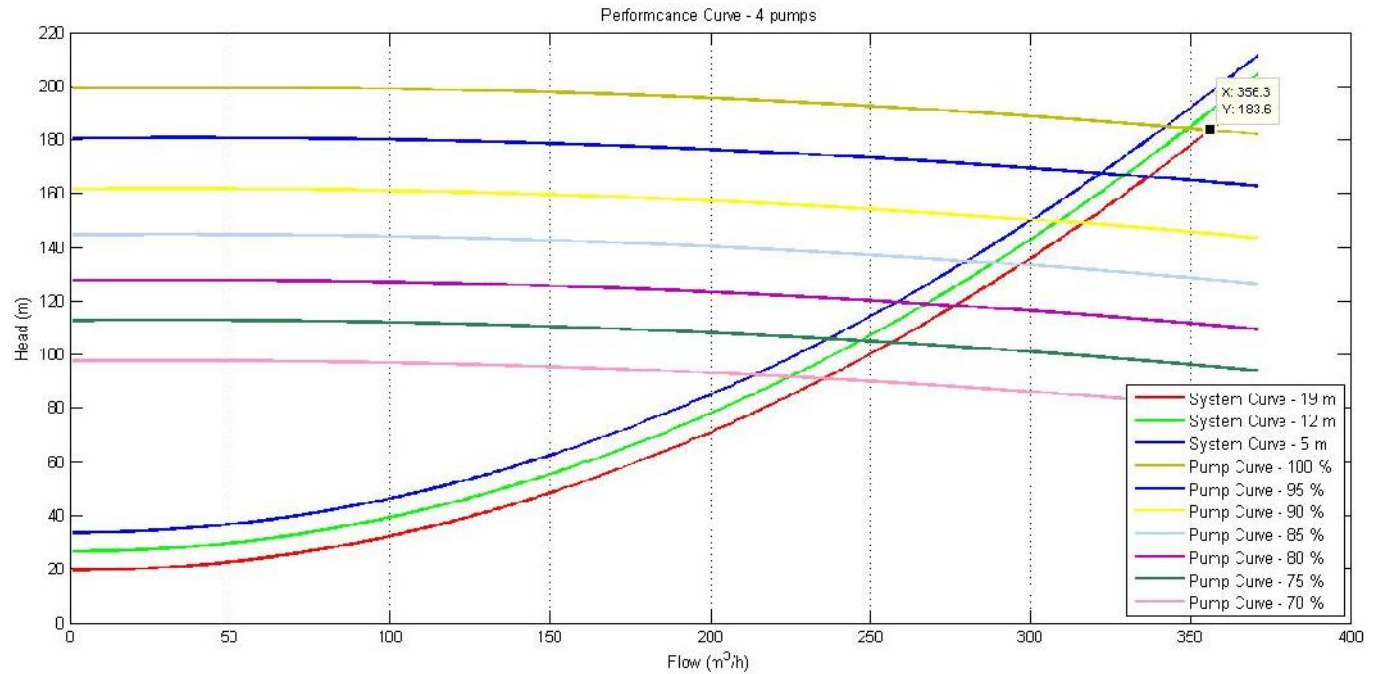


Gambar 4.19. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 2 pompa
Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 4.20. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 3 pompa

Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 4.21. Kurva Kinerja Pompa per Tingkat Putaran – 4 pompa

Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.7. Analisis Hasil Pemodelan

Analisis terhadap hasil pemodelan seluruh konfigurasi pompa dilakukan untuk mengetahui konfigurasi yang mampu memberikan kinerja paling optimum. Parameter utama dalam analisis ini adalah debit total konfigurasi atau jumlah LPG yang dapat dialirkan oleh sistem / konfigurasi. Selain itu, terdapat pula batasan – batasan yang harus diperhatikan agar konfigurasi pompa dapat beroperasi secara optimum dan tetap aman untuk keseluruhan sistem. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. **Kapasitas Truck Loading Arm (TLA).**

Pada masing - masing bangsal pengisian terdapat TLA yang digunakan untuk mengisi LPG ke truk. TLA tersebut berkapasitas maksimum $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ($544.98 \text{ kg}_{\text{LPG}}/\text{min}$), sehingga total kapasitas maksimum sistem penyaluran LPG adalah $360 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3269.88 \text{ kg}_{\text{LPG}}/\text{min}$), karena terdapat 6 bangsal dan 6 TLA. Oleh karena itu, total debit LPG yang dihasilkan oleh setiap konfigurasi harus kurang dari $360 \text{ m}^3/\text{h}$.

2. **Pump Operating Manual.**

KSB selaku *pump maker* memberikan batas operasional melalui debit maksimum (Q_{\max}) dan minimum (Q_{\min}) pompa, dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Q_{\max} (melihat kurva karakteristik pompa)
- b. $Q_{\min} = 0,3 \times Q_{\text{opt}}$ (debit pompa pada BEP)

Gambar 4.14 menunjukkan kurva karakteristik pompa pada setiap tingkat kecepatan putaran pompa, misal: Pada kecepatan 100% pompa ini dapat mengalirkan LPG (Q_{\max}) sebesar $130 \text{ m}^3/\text{h}$. Untuk nilai (Q_{\min}), berdasarkan *data sheet* pompa diketahui bahwa debit pompa pada BEP (Q_{opt}) adalah $110 \text{ m}^3/\text{h}$, sehingga nilai Q_{\min} adalah $33 \text{ m}^3/\text{h}$.

3. **Rekomendasi API 610**

Dokumen API 610 (*Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*), pada poin 6.1.12 merekomendasi bahwa debit operasional sebuah pompa harus berada pada rentang 80% - 110% dari nilai debit nominal pada BEP. Sehingga, rentang debit operasional pompa LPG ini

harus berada diantara $88 \text{ m}^3/\text{h}$ dan $121 \text{ m}^3/\text{h}$, karena debit nominalnya sebesar $110 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.7.1. Analisis Efisiensi

Analisis pertama dilakukan untuk mengetahui efisiensi sistem secara keseluruhan pada semua konfigurasi pompa dan kondisi level tangki. Efisiensi sistem tersebut diperoleh berdasarkan debit total yang dapat dialirkan konfigurasi serta total *power input* yang dibutuhkan oleh sistem sesuai dengan konfigurasinya. **Tabel 4.10, Tabel 4.11, & Tabel 4.12** berikut ini menunjukkan data nilai efisiensi sistem pada setiap konfigurasi.

Tabel 4.10 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 19 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 19 m							
Jumlah	Putaran (%)	Q_1 (m^3/h)	H_1 (m)	Q_2 (m^3/h)	Eff (%)	P_{in} (kW)	Q_{total} (m^3/h)	P_{total} (kW)	Eff System (%)
2	100	240.7	169.2	120.327	55.148	54.753	240.7	109.5	56.292
2	95	227.7	153.4	113.352	55.040	46.999	226.7	94	56.01
2	90	213.7	137.4	106.788	54.901	39.506	213.6	79.01	56.226
2	85	200.7	123.4	100.286	54.839	33.585	200.6	67.17	55.782
2	80	186.9	109.6	93.240	54.670	27.665	186.5	55.33	55.922
2	75	173.6	97.12	86.290	54.430	22.975	172.6	45.95	55.221
2	70	159.4	84.92	77.513	53.937	18.103	155	36.21	55.048
3	100	343.7	172.2	114.748	55.078	53.181	344.2	159.5	56.249
3	95	324.9	155.9	109.400	54.886	45.977	328.2	137.9	56.159
3	90	305.1	139.8	101.803	54.646	38.694	305.4	116.1	55.682
3	85	286.5	125.5	95.629	54.515	32.826	286.9	98.48	55.349
3	80	266.8	111.4	88.910	54.353	26.879	266.7	80.64	55.786

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 19 m							
Jumlah	Putaran (%)	Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
3	75	247.5	98.57	82.538	53.944	22.399	247.6	67.2	54.987
3	70	226.5	85.7	75.344	53.728	17.893	226	53.68	54.632
4	100	356.3	183.6	90.082	51.499	47.653	360.3	190.6	52.543
4	95	336.8	166.2	85.025	51.229	41.104	340.1	164.4	52.046
4	90	316.4	148.9	79.823	51.005	34.712	319.3	138.8	51.837
4	85	297.1	133.5	74.995	50.651	29.446	300	117.8	51.473
4	80	276.5	118.2	69.878	50.404	24.338	279.5	97.35	51.378
4	75	256.6	104.5	64.702	49.733	20.251	258.8	81	50.546
4	70	235.5	91.03	58.109	48.344	16.243	232.4	64.97	49.303

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Tabel 4.11 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 12 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 12 m							
Jumlah	Putaran (%)	Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
2	100	236.1	170.4	118.130	55.132	54.098	236.3	108.2	56.33
2	95	222.8	154.7	110.835	54.970	46.344	221.7	92.69	56.011
2	90	208.5	138.7	104.120	54.893	38.956	208.2	77.91	56.122
2	85	195.1	124.7	97.431	54.654	33.035	194.9	66.07	55.678
2	80	180.9	110.8	90.379	54.608	27.115	180.8	54.23	55.911
2	75	167.1	98.38	83.040	54.168	22.451	166.1	44.9	55.087
2	70	152.3	86.17	74.004	53.428	17.683	148	35.37	54.593
3	100	337.1	173.4	112.432	55.063	52.579	337.3	157.7	56.134
3	95	317.9	157.1	106.016	54.808	45.191	318	135.6	55.794

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 12 m							
		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
3	90	297.6	141	99.208	54.623	37.934	297.6	113.8	55.825
3	85	278.5	126.7	92.853	54.400	32.171	278.6	96.51	55.361
3	80	258.1	112.5	86.146	54.176	26.486	258.4	79.46	55.395
3	75	238.2	99.72	79.423	53.528	21.927	238.3	65.78	54.681
3	70	216.4	86.87	71.956	53.050	17.448	215.9	52.34	54.237
4	100	349.4	184.3	88.315	50.959	47.339	353.3	189.4	52.052
4	95	329.5	166.9	83.165	50.612	40.790	332.7	163.2	51.516
4	90	308.6	149.6	77.846	50.288	34.319	311.4	137.3	51.372
4	85	288.7	134.2	72.879	49.956	29.158	291.5	116.6	50.78
4	80	267.5	118.9	67.575	49.439	24.102	270.3	96.41	50.468
4	75	246.9	105.2	62.216	48.514	20.067	248.9	80.27	49.377
4	70	224.8	91.71	55.469	47.195	16.007	221.9	64.03	48.113

Sumber: Hasil Analisis, 2016

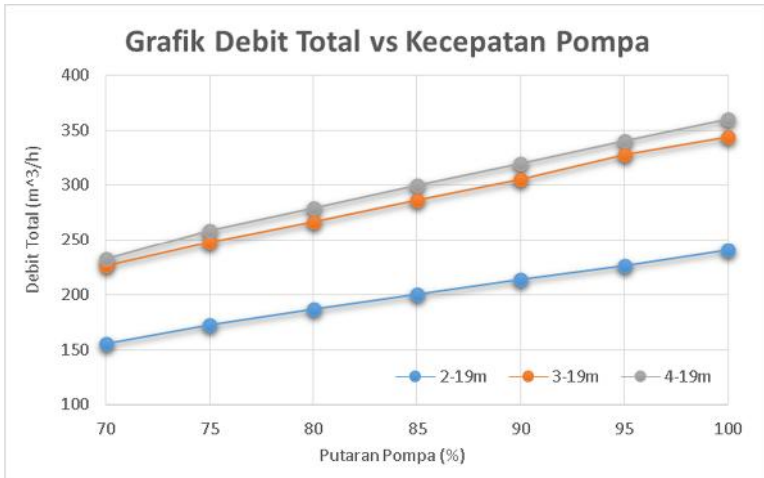
Tabel 4.12 Analisis Hasil Pemodelan Seluruh Konfigurasi Pada Level Tangki 5 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 5 m							
		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
2	100	231.4	171.7	115.698	55.094	53.365	231.4	106.7	56.356
2	95	217.8	155.9	108.454	54.932	45.793	216.9	91.59	55.897
2	90	203.1	139.9	101.589	54.832	38.484	203.2	76.97	55.908
2	85	189.4	126	94.483	54.469	32.459	189	64.92	55.525
2	80	174.6	112.1	87.163	54.338	26.669	174.3	53.34	55.465
2	75	160.3	99.64	79.644	53.628	21.954	159.3	43.91	54.724

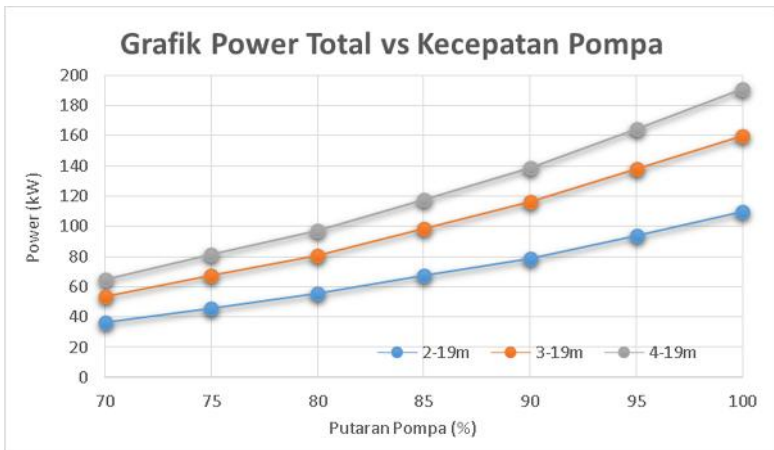
Konfigurasi Pompa		Level Tangki 5 m							
Jumlah	Putaran (%)	Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
2	70	144.8	87.41	70.330	52.702	17.317	140.7	34.63	53.744
3	100	330.3	174.5	110.261	54.940	52.002	330.8	156	56.013
3	95	310.7	158.2	103.726	54.538	44.693	311.2	134.1	55.583
3	90	290	142.1	96.763	54.400	37.410	290.3	112.2	55.643
3	85	270.3	127.8	90.227	54.114	31.699	270.7	95.1	55.07
3	80	249.2	113.7	83.015	53.628	25.988	249	77.96	54.984
3	75	228.5	100.9	76.082	53.073	21.534	228.2	64.6	53.968
3	70	205.7	88.04	68.379	52.193	17.133	205.1	51.4	53.193
4	100	342.3	185	86.507	50.442	47.025	346	188.1	51.522
4	95	322.1	167.6	81.258	50.018	40.528	325	162.1	50.872
4	90	300.6	150.3	75.812	49.663	34.109	303.2	136.4	50.573
4	85	280.2	134.9	70.692	49.239	28.922	282.8	115.7	49.917
4	80	258.3	119.6	65.180	48.467	23.761	260.7	95.04	49.667
4	75	236.8	105.9	59.614	47.403	19.779	238.5	79.12	48.32
4	70	213.7	92.39	52.676	45.652	15.745	210.7	62.98	46.794

Sumber: Hasil Analisis, 2016

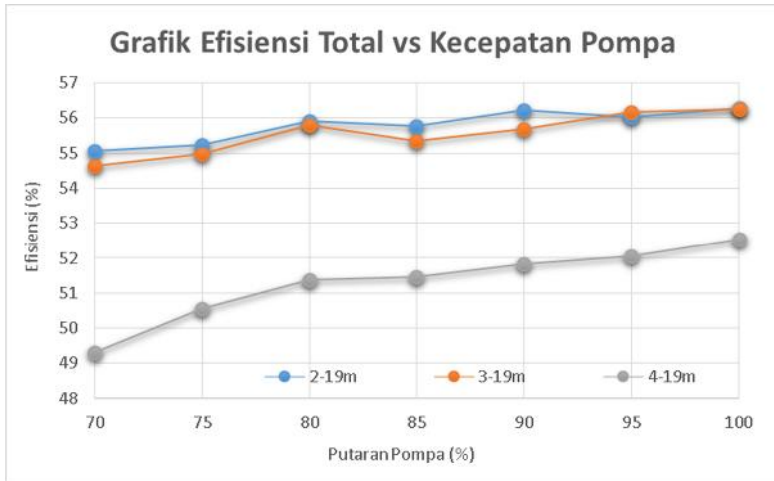
Berdasarkan data hasil pemodelan diperoleh bahwa semakin putaran pompa diturunkan efisiensi sistem menurun. Hal ini dikarenakan debit yang dihasilkan berkurang. Walaupun disini lain *power input* yang dibutuhkan juga berkurang. Konfigurasi 4 pompa paralel memberikan hasil yang lebih buruk dibandingkan konfigurasi 2 dan 3 pompa. Karena konfigurasi 4 pompa tidak dapat bekerja secara maksimal, dikarenakan adanya batasan debit total sistem, yaitu terbatas oleh kapasitas maksimum TLA, sebagaimana penjelasan di atas. Berikut ini grafik analisis hasil pemodelan pada level tangki 19 m.



Gambar 4.22. Grafik Perubahan Debit terhadap Putaran
Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 4.23. Grafik Perubahan *Power* terhadap Putaran
Sumber: Hasil Analisis, 2016



Gambar 4.24. Grafik Perubahan Efisiensi terhadap Putaran
Sumber: Hasil Analisis, 2016

4.7.2. Analisis Operasional

Analisis kedua dilakukan berdasarkan batasan – batasan yang telah dijelaskan di atas. Titik operasional yang dipilih / ditentukan harus memenuhi seluruh batasan yang ditentukan, baik kapasitas maksimum TLA, rekomendasi *maker*, maupun rekomendasi API 610. Berikut konfigurasi – konfigurasi yang memenuhi syarat / batasan.

Tabel 4.13 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 19 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 19 m							
		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
Jumlah	Putaran (%)								
2	100	240.7	169.2	120.327	55.148	54.753	240.7	109.5	56.292
2	95	227.7	153.4	113.352	55.040	46.999	226.7	94	56.01
2	90	213.7	137.4	106.788	54.901	39.506	213.6	79.01	56.226

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 19 m							
		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
Jumlah	Putaran (%)								
2	85	200.7	123.4	100.286	54.839	33.585	200.6	67.17	55.782
2	80	186.9	109.6	93.240	54.670	27.665	186.5	55.33	55.922
3	100	343.7	172.2	114.748	55.078	53.181	344.2	159.5	56.249
3	95	324.9	155.9	109.400	54.886	45.977	328.2	137.9	56.159
3	90	305.1	139.8	101.803	54.646	38.694	305.4	116.1	55.682
3	85	286.5	125.5	95.629	54.515	32.826	286.9	98.48	55.349
3	80	266.8	111.4	88.910	54.353	26.879	266.7	80.64	55.786
4	100	356.3	183.6	90.082	51.499	47.653	360.3	190.6	52.543

Sumber: Hasil Analisis, 2016

Tabel 4.14 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 12 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 12 m							
		Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
Jumlah	Putaran (%)								
2	100	236.1	170.4	118.130	55.132	54.098	236.3	108.2	56.33
2	95	222.8	154.7	110.835	54.970	46.344	221.7	92.69	56.011
2	90	208.5	138.7	104.120	54.893	38.956	208.2	77.91	56.122
2	85	195.1	124.7	97.431	54.654	33.035	194.9	66.07	55.678
2	80	180.9	110.8	90.379	54.608	27.115	180.8	54.23	55.911
3	100	337.1	173.4	112.432	55.063	52.579	337.3	157.7	56.134
3	95	317.9	157.1	106.016	54.808	45.191	318	135.6	55.794
3	90	297.6	141	99.208	54.623	37.934	297.6	113.8	55.825
3	85	278.5	126.7	92.853	54.400	32.171	278.6	96.51	55.361
4	100	349.4	184.3	88.315	50.959	47.339	353.3	189.4	52.052

Sumber: Hasil Analisis, 2016

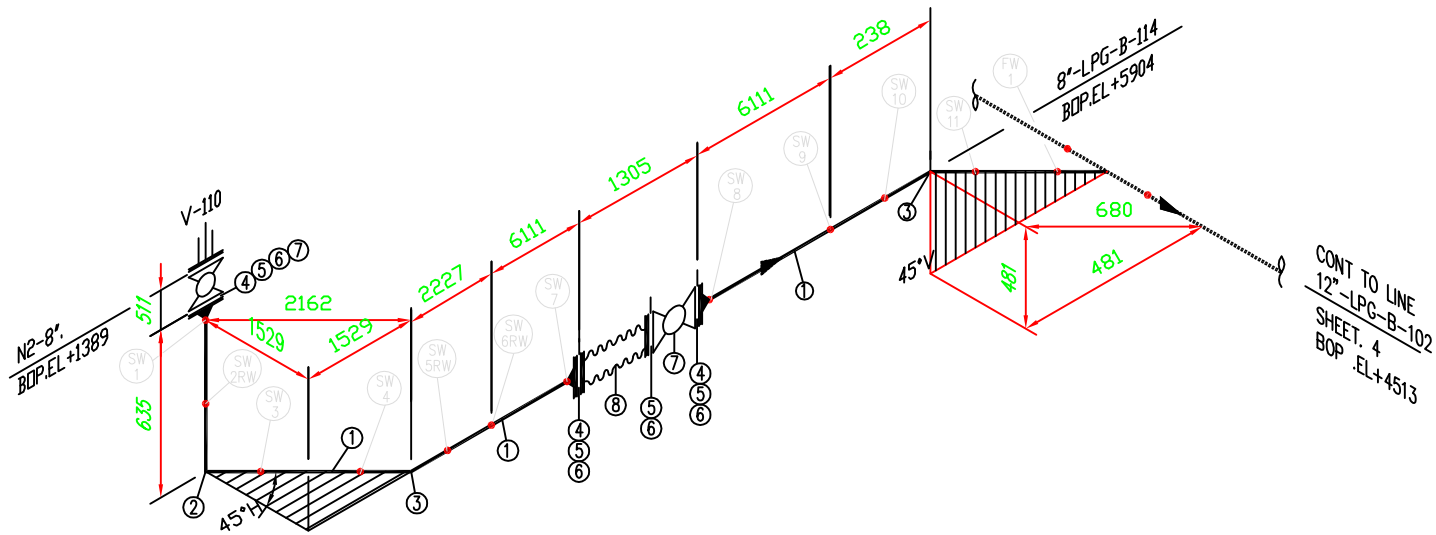
Tabel 4.15 Analisis Batasan Operasional Pada Level Tangki 5 m

Konfigurasi Pompa		Level Tangki 5 m							
Jumlah	Putaran (%)	Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
2	100	231.4	171.7	115.698	55.094	53.365	231.4	106.7	56.356
2	95	217.8	155.9	108.454	54.932	45.793	216.9	91.59	55.897
2	90	203.1	139.9	101.589	54.832	38.484	203.2	76.97	55.908
2	85	189.4	126	94.483	54.469	32.459	189	64.92	55.525
3	100	330.3	174.5	110.261	54.940	52.002	330.8	156	56.013
3	95	310.7	158.2	103.726	54.538	44.693	311.2	134.1	55.583
3	90	290	142.1	96.763	54.400	37.410	290.3	112.2	55.643
3	85	270.3	127.8	90.227	54.114	31.699	270.7	95.1	55.07

Sumber: Hasil Analisis, 2016

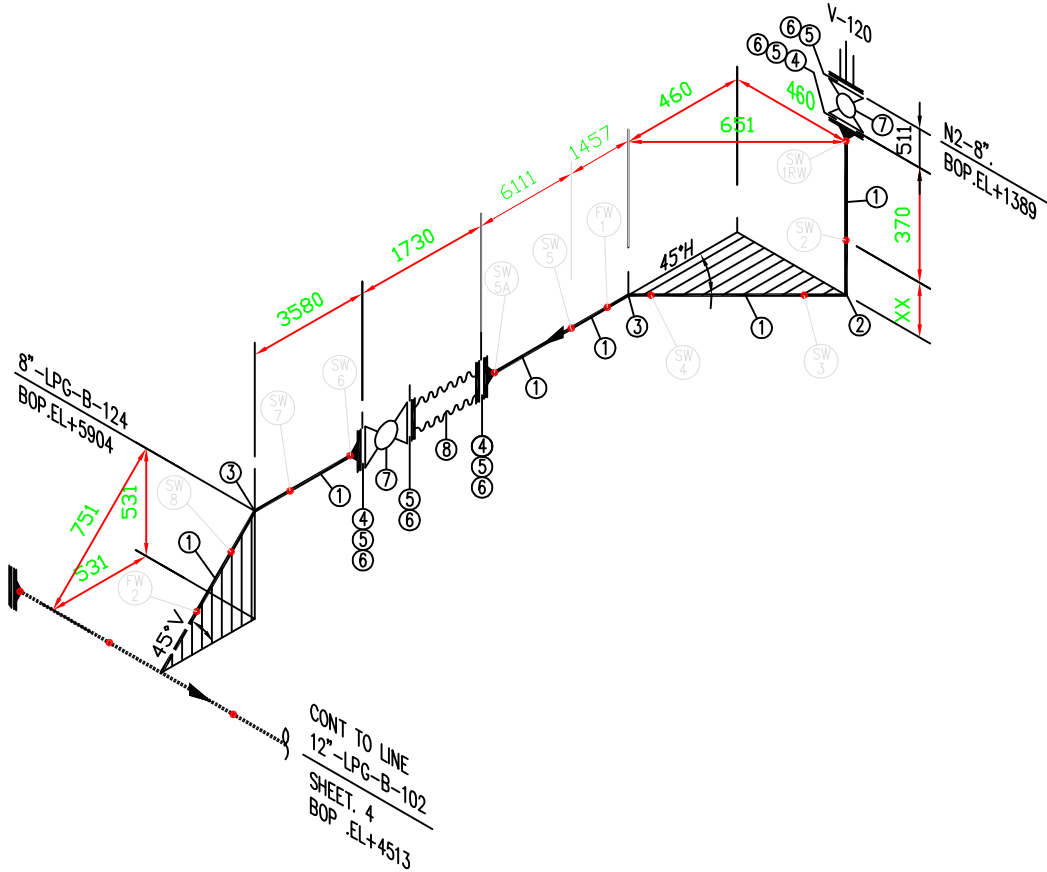
Hasil akhir analisis memberikan data berbagai konfigurasi pompa yang mampu memenuhi batasan operasional. Diantara konfigurasi yang memenuhi tersebut dapat dipilih satu konfigurasi yang memberikan debit paling besar terhadap sistem penyaluran LPG, yaitu konfigurasi 3 pompa pada kecepatan putaran 100 %. Konfigurasi ini menghasilkan debit paling tinggi pada semua level tangki.

LAMPIRAN 1
ISOMETRIC DRAWING



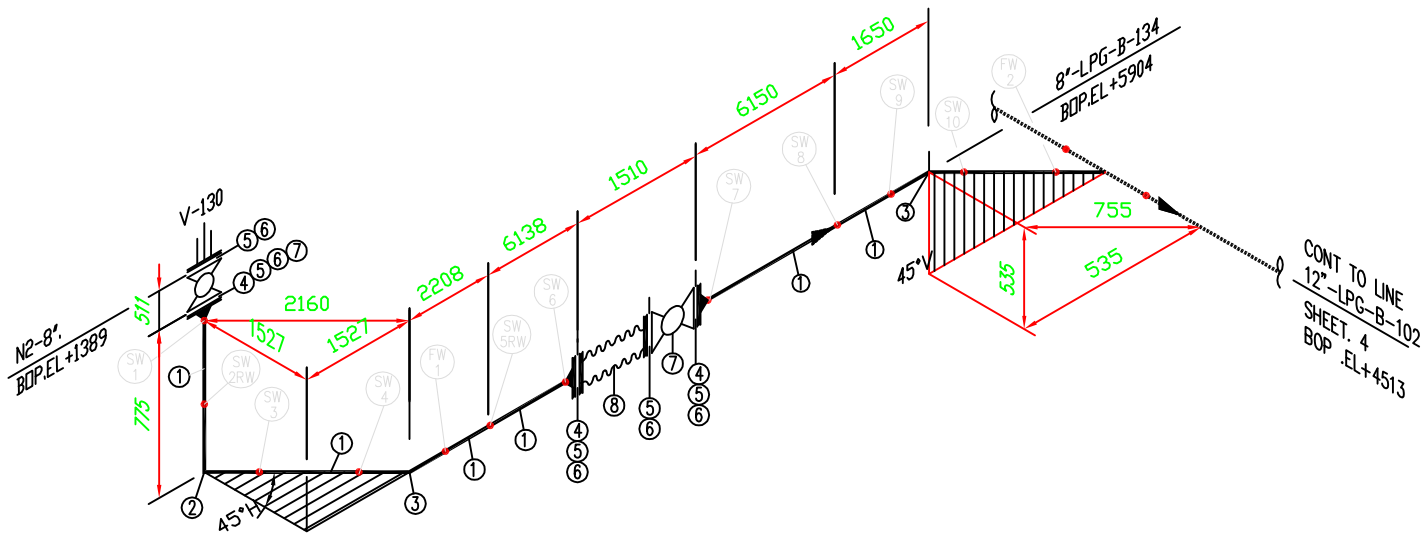
ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1	8"	PIPE ASTM A-160-GR. B SCH.40 SMLS BE	16.69 M	
2	8"	90°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	1 EA	
3	8"	45°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	2 EA	
4	8"	FLANGE RFWN.300# ASTM A-105	3 EA	
5	8"	GASKET. RF.4,5 MM THK SP-WOUND 304-SS	5 EA	
6	8"	STUD BOLTS A193 Gr.B7/HEX NUTS A194 Gr.2H ASME B16.5(8")	5 SET	
7	8"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	2 EA	
8	8"	FLEXIBL JOINT RF.API 6D 300#	1 EA	

cpo KONSORSIUM CPO	
CLIENT :	
PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA	
MAIN CONTRACTOR	
PT CITRA PANJI MANUNG GAL	
WORK :	
FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG	
TITLE:	
TANK AREA ISOMETRIC	



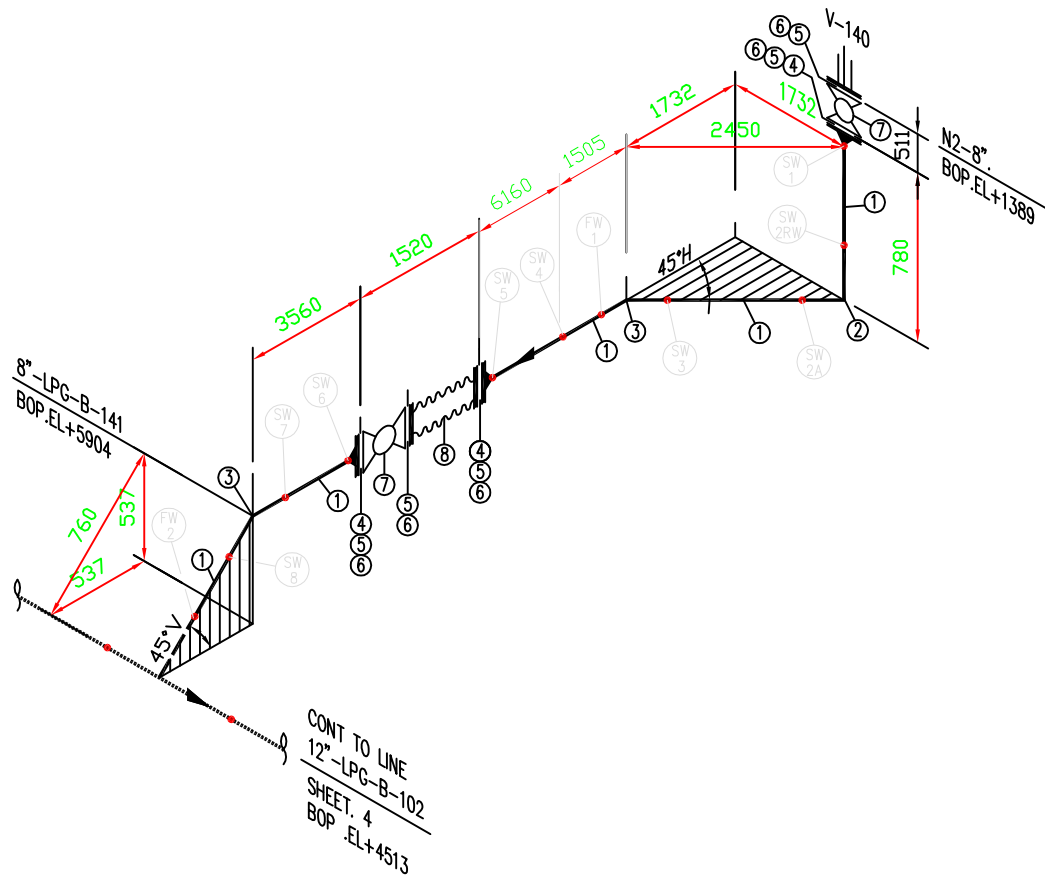
ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1	8"	PIPE ASTM A-160-GR. B SCH.40 SMLS BE	8.62 M	
2	8"	90°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	1 EA	
3	8"	45°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	2 EA	
4	8"	FLANGE RFWN.300# ASTM A-105	3 EA	
5	8"	GASKET. RF.4.5 MM THK SP-WOUND 304-SS	5 EA	
6	8"	STUD BOLTS A193 Gr.B7/HEX NUTS A194 Gr.2H ASME B16.5(8")	5 SET	
7	8"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	2 EA	
8	8"	FLEXBL JOINT RF-API 6D 300#	1 EA	

CPQ KONSORSIUM CPQ	
CLIENT :	PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA
MAIN CONTRACTOR	PT CITRA PANJI MANUNGAL
WORK :	FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG
TITLE :	TANK AREA ISOMETRIC






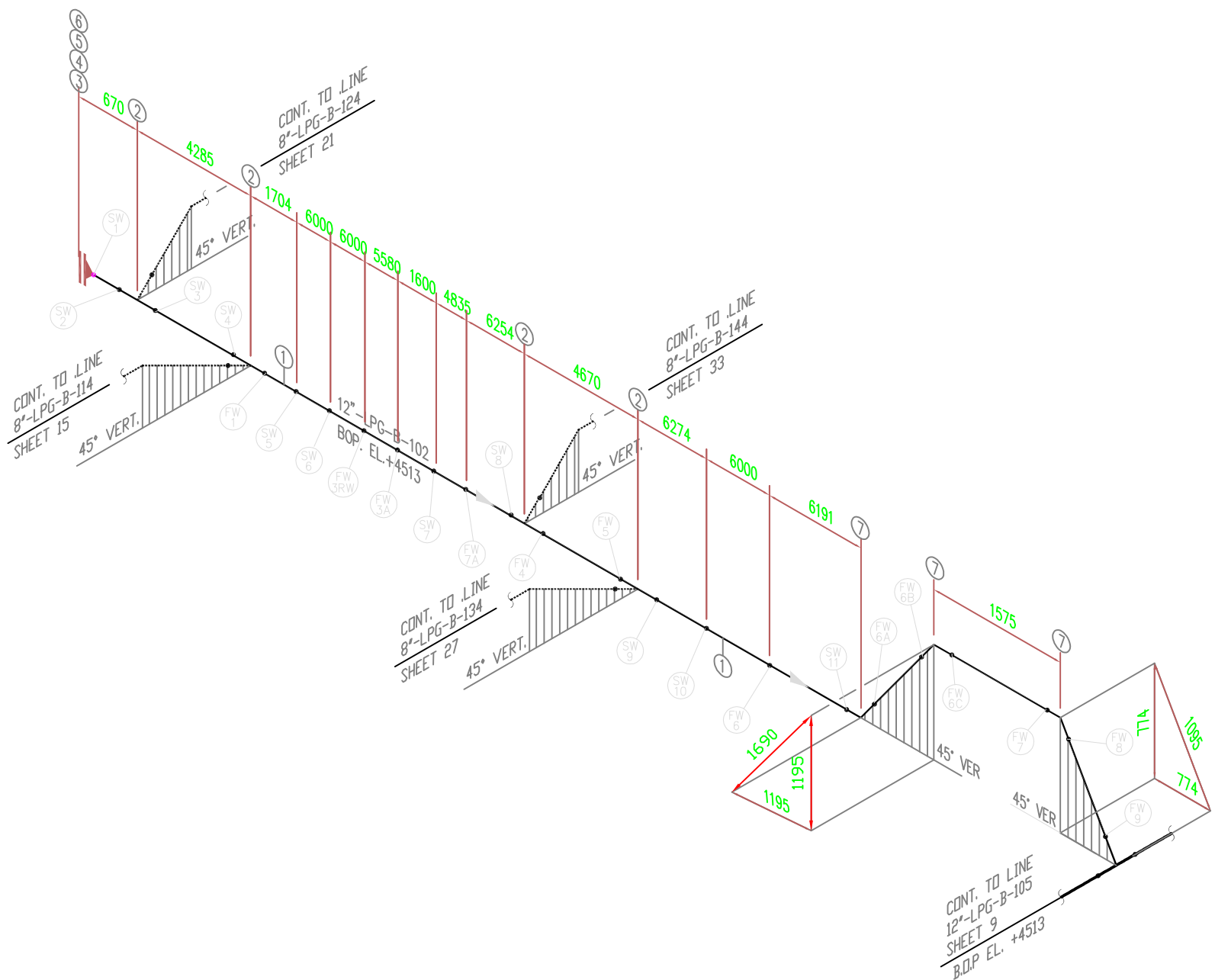
ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1	8"	PIPE ASTM A-160-GR. B SCH.40 SMLS BE	18.45 M	
2	8"	90°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	1 EA	
3	8"	45°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	2 EA	
4	8"	FLANGE RFWN.300# ASTM A-105	3 EA	
5	8"	GASKET. RF.4.5 MM THK SP-WOUND 304-SS	5 EA	
6	8"	STUD BOLTS A193 Gr.B7/HEX NUTS A194 Gr.2H ASME B16.5(8")	5 SET	
7	8"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	2 EA	
8	8"	FLEXIBL JOINT RF.API 6D 300#	1 EA	

cpo KONSORSIUM CPO	
CLIENT :	
OPTIMA PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA	
MAIN CONTRACTOR	
CITRA PT CITRA PANJI MANUNGAL	
WORK :	
FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG	
TITLE:	
TANK AREA ISOMETRIC	



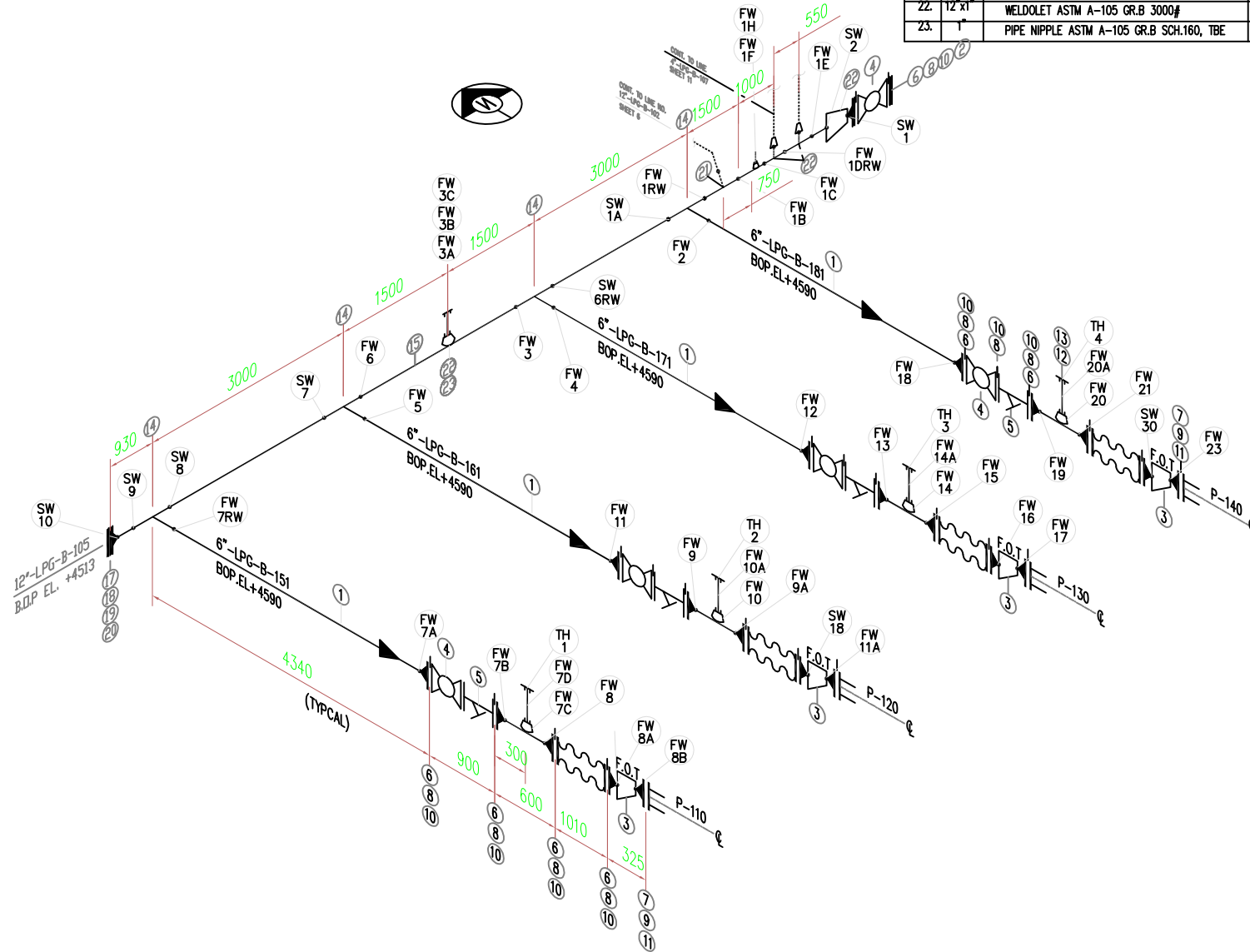
ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1	8"	PIPE ASTM A-160-GR. B SCH.40 SMLS BE	13.84 M	
2	8"	90°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	1 EA	
3	8"	45°LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR.WPB	2 EA	
4	8"	FLANGE RFWN.300# ASTM A-105	3 EA	
5	8"	GASKET. RF.4.5 MM THK SP-WOUND 304-SS	5 EA	
6	8"	STUD BOLTS A193 Gr.B7/HEX NUTS A194 Gr.2H ASME B16.5(8")	5 SET	
7	8"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	2 EA	
8	8"	FLEXBL JOINT RF-API 6D 300#	1 EA	

<div><div> KONSORSIUM CPO</div><div>CLIENT : <div> PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA</div></div><div>MAIN CONTRACTOR <div> PT CITRA PANJI MANUNGGAL</div></div><div>WORK : FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG</div><div>TITLE : TANK AREA ISOMETRIC</div></div>				
--	--	--	--	--



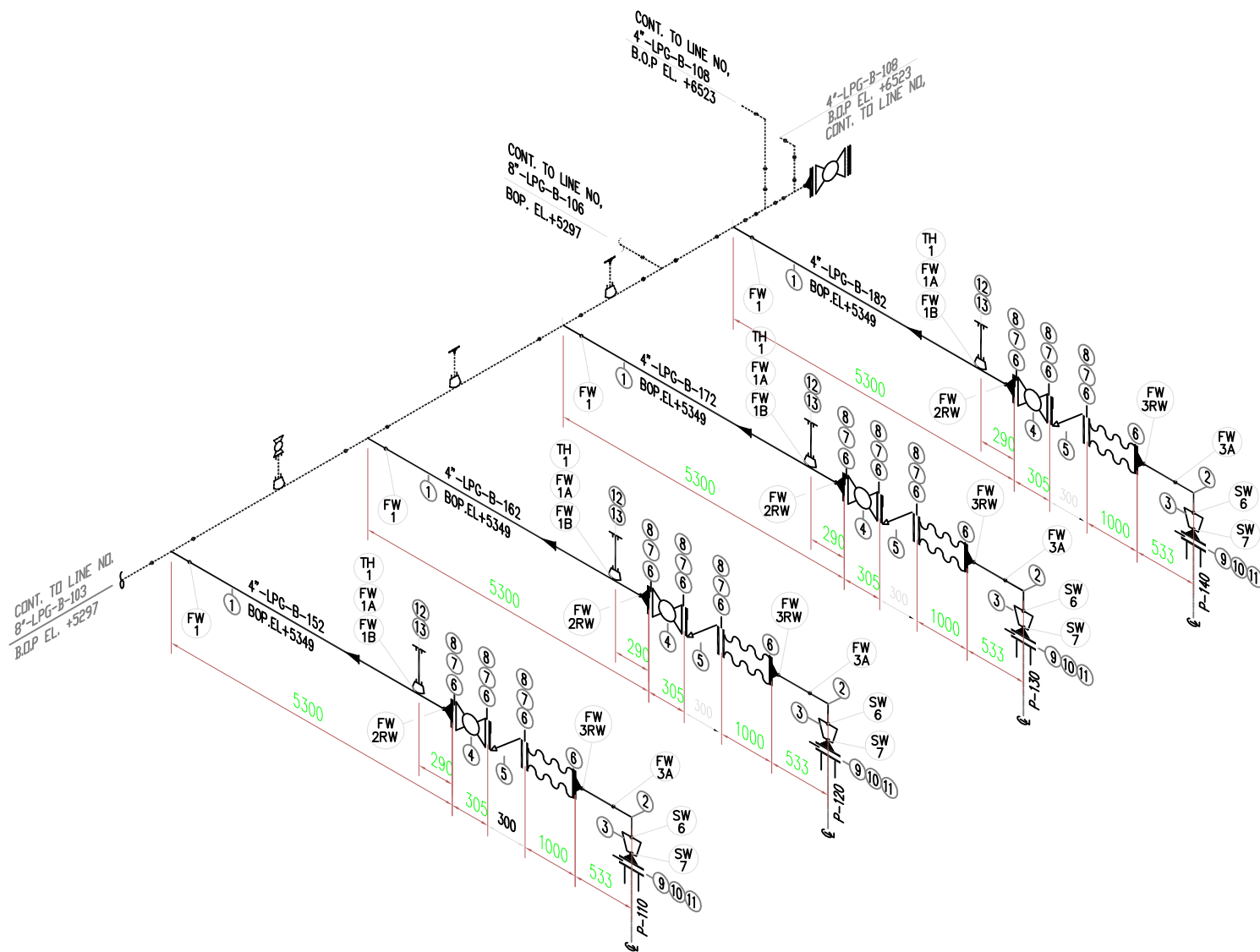
ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1.	12"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	61.48 M	
2.	12"x8"	RED TEE-BW SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	4 EA	
3.	12"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	1 EA	
4.	12"	BLIND FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	1 EA	
5.	12"	GASKET. RF. 4,5 MM THK. SP-WOUND 304-SS	1 EA	
6.	12"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 7/8"x 5 1/2" LG.=12 EA (1 SET)	1 SET	
7.	12"	45° ELL-BW SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	3 EA	

CPQ	KONSORSIUM CPO
CLIENT :	PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA
MAIN CONTRACTOR	PT CITRA PANJI MANUNGAL
WORK :	FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG
TITLE :	TANK AREA ISOMETRIC



15.	12"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	9.3 M	ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
16.	12"x6"	CON RED-BW SCH. 40 ASTM A-234 GR. WPB	1 EA	1.	6"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	17.71 M	
17.	12"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	1 EA	2.	6"	BLIND FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	1 EA	
18.	12"	BLIND FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	1 EA	3.	6"x4"	ECC RED-BW SCH. 40 ASTM A-234 GR. WPB	4 EA	
19.	12"	GASKET. RF. 3 MM THK. SP-WOUND 304-SS	1 EA	4.	6"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	5 EA	
20.	12"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 1 1/8"x 6 3/4" LG.=16 EA (1 SET)	1 SET	5.	6"	Y-STRAINER. 300# RF	4 EA	
21.	12"	EQUAL TEE-BW SCH. 40 ASTM A-234 GR. WPB	1 EA	6.	6"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	17 EA	
22.	12"x1"	WELDOLET ASTM A-105 GR.B 3000#		7.	4"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	4 EA	
23.	1"	PIPE NIPPLE ASTM A-105 GR.B SCH.160, TBE		8.	6"	GASKET. RF. 3 MM THK. SP-WOUND 304-SS	22 EA	
				9.	4"	GASKET. RF. 3 MM THK. SP-WOUND 304-SS	4 EA	
				10.	6"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 3/4"x 5" LG.=12 EA (1 SET)	22 SET	
				11.	4"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 3/4"x 4+1/2" LG.=8 EA (1 SET)	4 SET	
				12.	6"x3/4"	WELDOLET ASTM A-105 GR.B 3000#	4 EA	
				13.	3/4"	PIPE NIPPLE ASTM A-105 GR.B SCH.160, TBE	4 EA	
				14.	12"x6"	RED TEE-BW SCH. 40 ASTM A-234 GR. WPB	6 EA	

CPQ	KONSORSIUM CPO
CLIENT :	PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA
MAIN CONTRACTOR	PT CITRA PANJI MANUNGGA
WORK :	FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG
TITLE :	LPG PUMP HOUSE ISOMETRIC



ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
1.	4"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	21.41 M	
2.	4"	90° LR ELL-BW SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	4 EA	
3.	4"x3"	CON RED-BW SCH. 40 ASTM A-234 GR. WPB	4 EA	
4.	4"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	4 EA	
5.	4"	WAFER CHECK VLV. 300# RF. API 6D	4 EA	
6.	4"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	8 EA	
7.	4"	GASKET. RF. 3 MM THK. SP-WOUND 304-SS	12 EA	
8.	4"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 3/4"x 4+1/2" LG.=8 EA (1 SET)	12 SET	
9.	3"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	4 EA	
10.	3"	GASKET. RF. 3 MM THK. SP-WOUND 304-SS	4 EA	
11.	3"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H 3/4"x 4+1/2" LG.=8 EA (1 SET)	4 SET	
12.	4"x3/4"	WELDOLET ASTM A-105 GR.B 3000#	4 EA	
13.	3/4"	PIPE NIPPLE ASTM A-105 GR.B SCH.160, TBE	4 EA	

CPO KONSORSIUM CPO

CLIENT :

PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA

MAIN CONTRACTOR



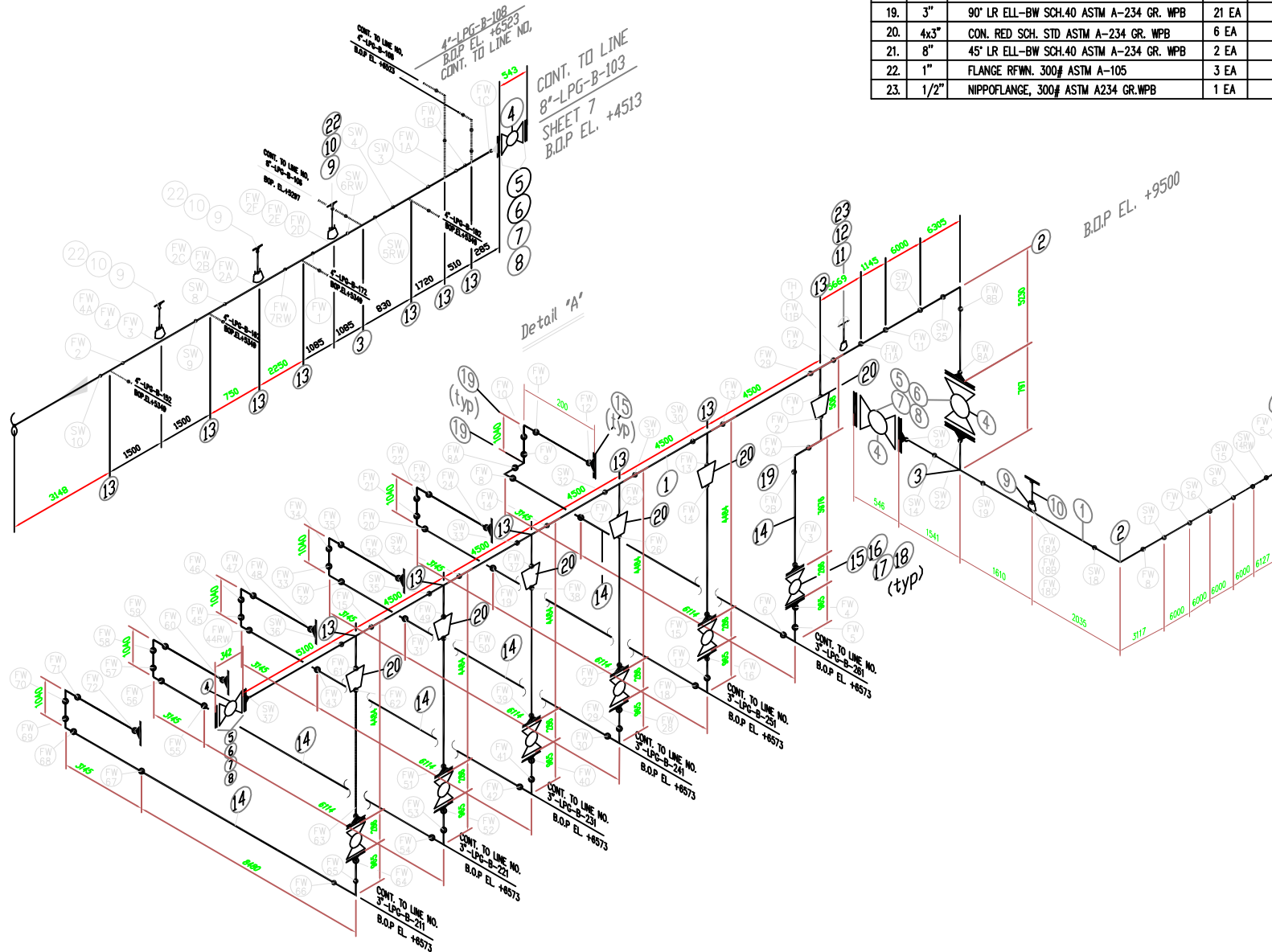
PT CITRA PANJI MANUNGAL

WORK :

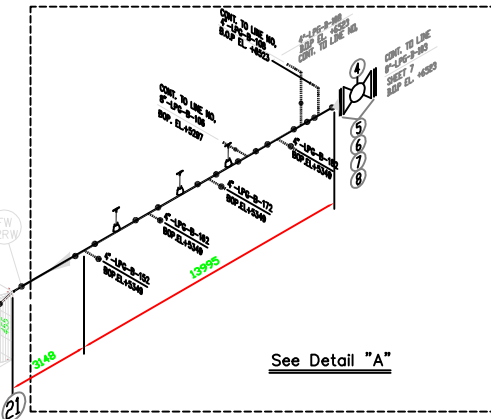
FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG

TITLE :

LPG PUMP HOUSE ISOMETRIC



ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK	ITEM	SIZE	DESCRIPTION	Q'TY	REMARK
13.	8"x4"	RED TEE-BW SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	12 EA		1.	8"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	97.26 M	
14..	3"	PIPE ASTM A-106-GR. B SCH.40 SMLS BE	87 M		2.	8"	90° LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR. WPB	2 EA	
15.	3"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	18 EA		3.	8"	EQUAL TEE-BW SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	2 EA	
16.	3"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	6 EA		4.	8"	BALL VLV. 300# RF. API-6D	4 EA	
17.	3"	GASKET. RF. 4.5 MM THK. SP-WOUND 304-SS	18 EA		5.	8"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	5 EA	
18.	3"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H #3/4 X 4 1/2 LG.=8 EA(1 SET)	18 SET		6.	8"	BLIND FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	3 EA	
19.	3"	90° LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR. WPB	21 EA		7.	8"	GASKET. RF. 4.5 MM THK. SP-WOUND 304-SS	8 EA	
20.	4x3"	CON. RED SCH. STD ASTM A-234 GR. WPB	6 EA		8.	8"	STUD BOLTS ASTM A-193 GR.B7 C/W NUTS ASTM A-194 GR.2H #3/4 X 4 1/2 LG.=8 EA(1 SET)	8 SET	
21.	8"	45° LR ELL-BW SCH.40 ASTM A-234 GR. WPB	2 EA		9.	8"x1"	WELDOLET, 3000# ASTM A234 GR.WPB	2 EA	
22.	1"	FLANGE RFWN. 300# ASTM A-105	3 EA		10.	1"	NIPPOFLANGE, 300# ASTM A234 GR.WPB	2 EA	
23.	1/2"	NIPPOFLANGE, 300# ASTM A234 GR.WPB	1 EA		11.	1/2"	CAP, 3000# ASTM A234 GR.WPB	1 EA	
					12.	8X1/2"	THREDOLET, 3000# ASTM A234 GR.WPB	1 EA	

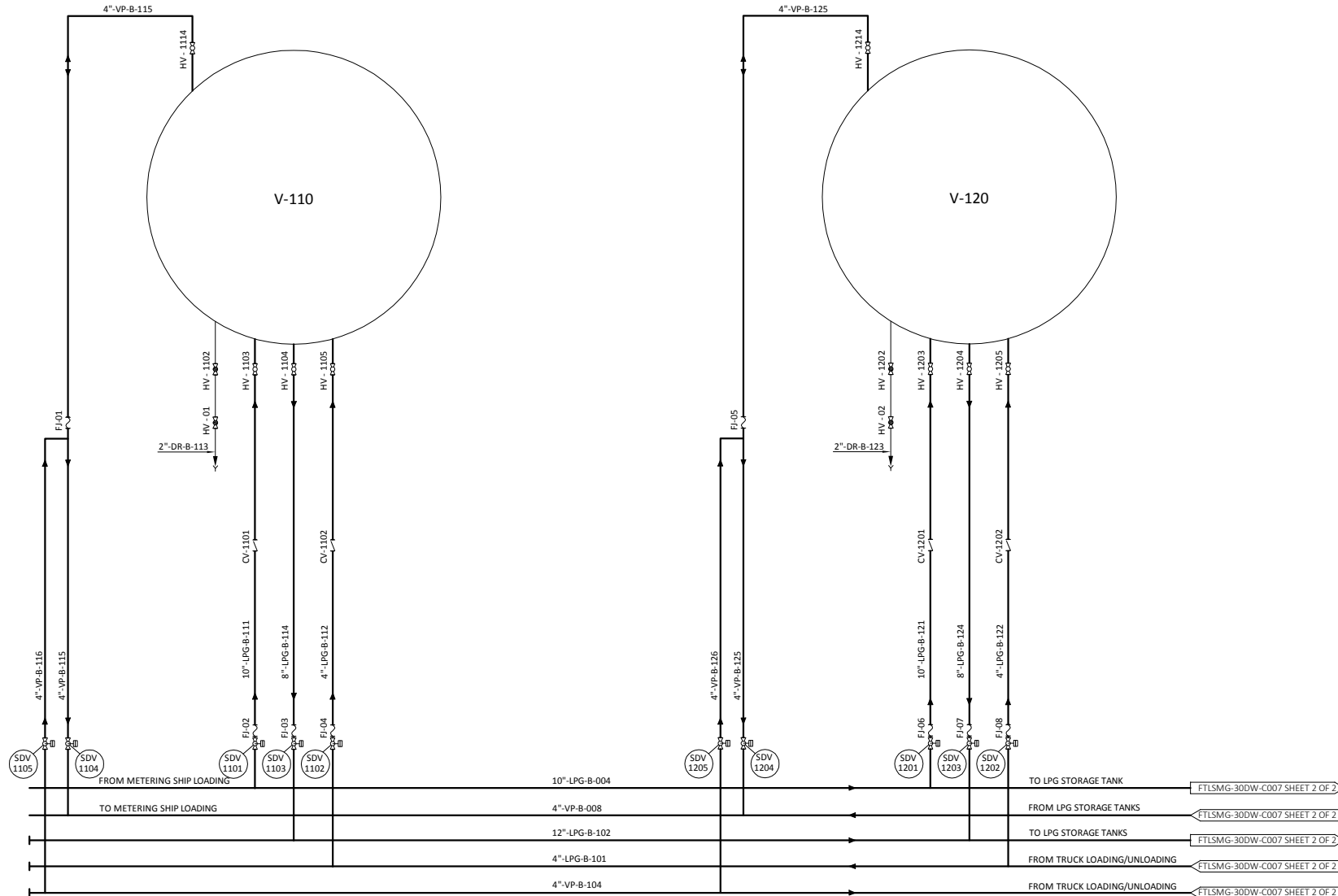


cpo	KONSORSIUM CPO
CLIENT :	PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA
MAIN CONTRACTOR	PT CITRA PANJI MANUNGGAL
WORK :	FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG
TITLE :	FILLING SHED ISOMETRIC

LAMPIRAN 2
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM

**V-110 / V-120
LPG STORAGE TANK**

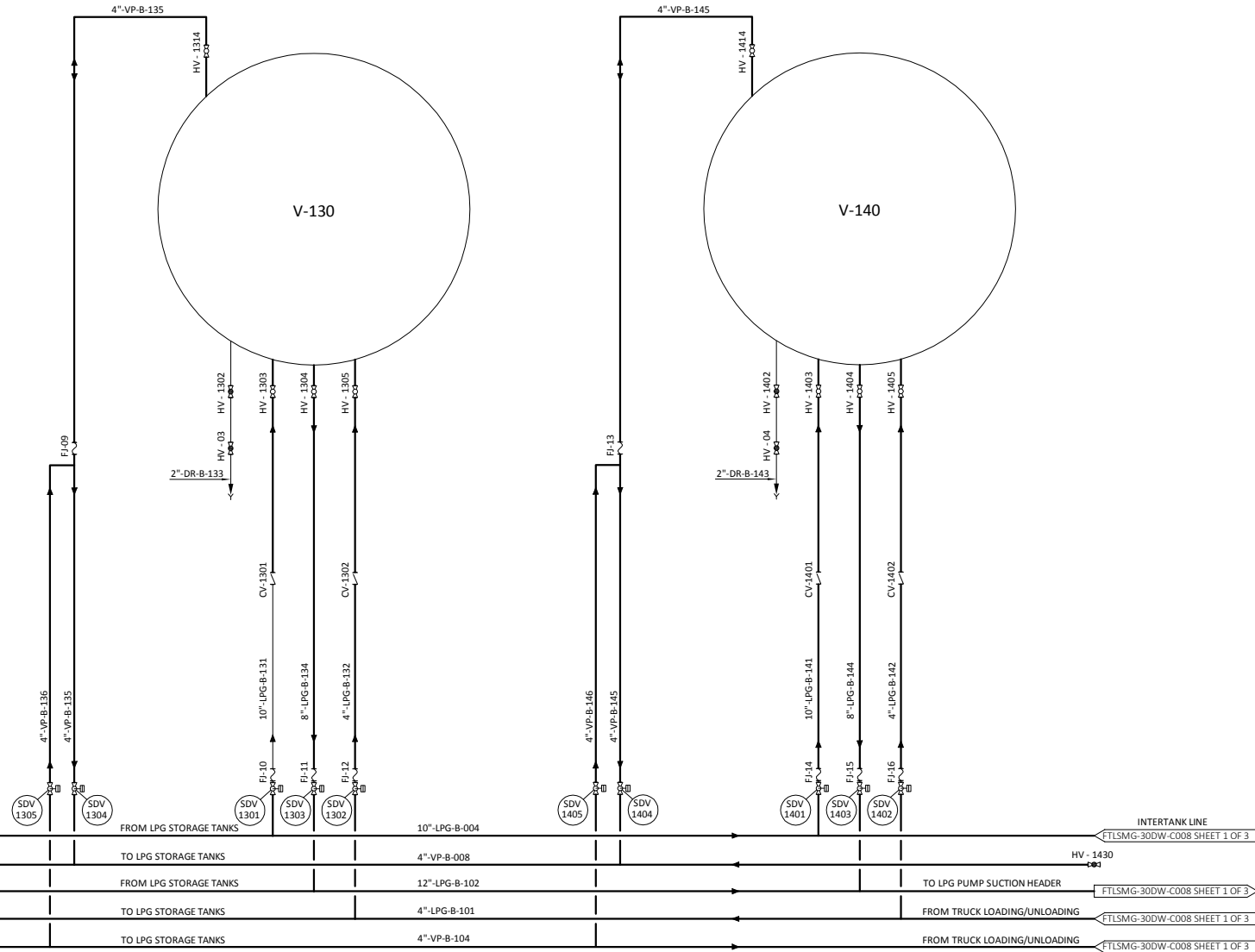
SIZE : 21216 mm ID
CAPACITY : 2500 MT
DESIGN : 17.24 BARG
OPERATING PRES. : 7 ~ 14 BARG
OPERATING TEMP. : 5 ~ 30 °C



CPO KONSORSIUM CPO CLIENT : PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA MAIN CONTRACTOR : PT CITRA PANJI MANUNGAL WORK : FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG			
TITLE: LPG LOADING STORAGE TANK PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM			
SCALE	DRAWING No:	SHT	SIZE/REV
NTS	FTLSMG-30-DW-C007	1	A3 1

**V-130 / V-140
LPG STORAGE TANK**

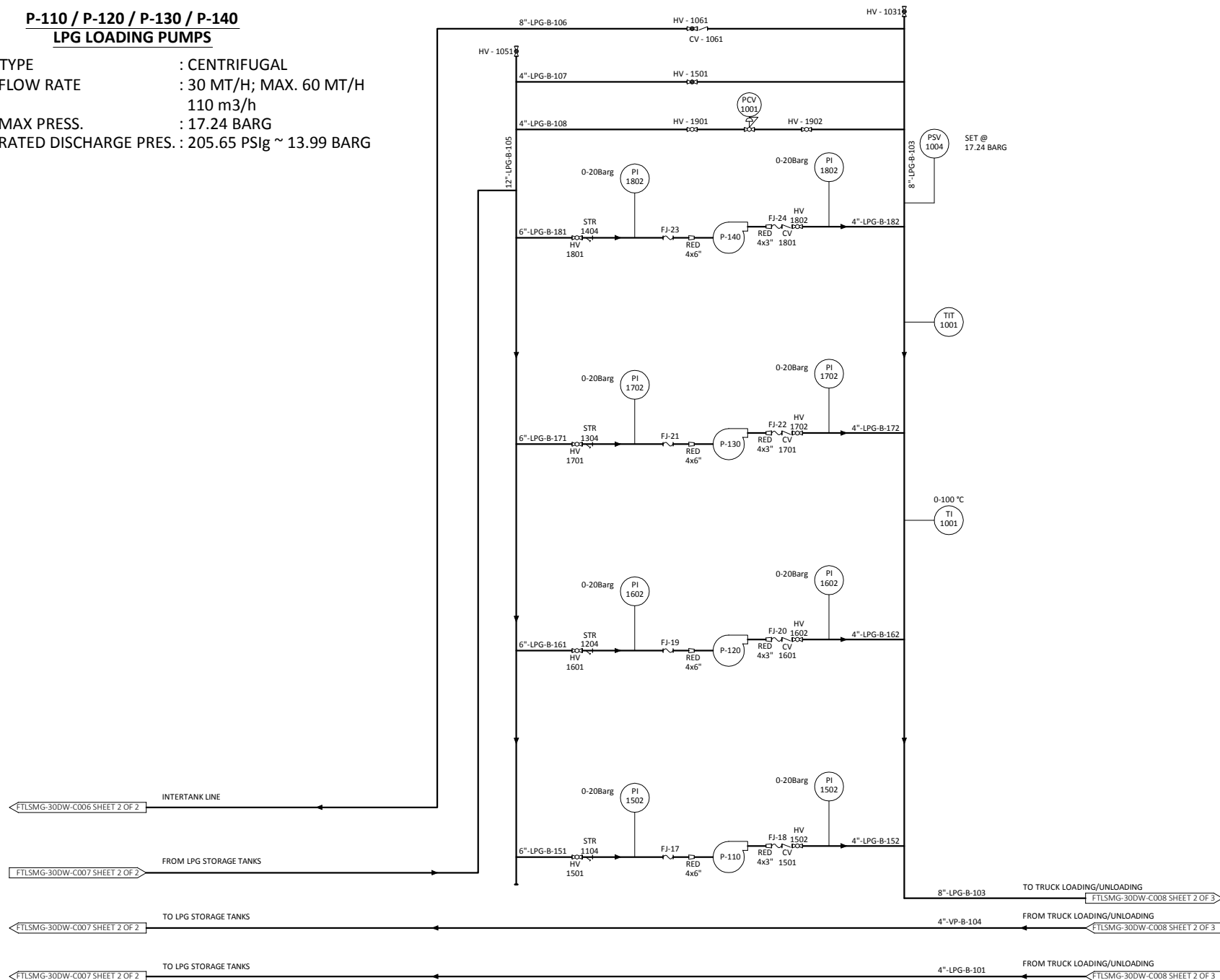
SIZE : 21216 mm ID
CAPACITY : 2500 MT
DESIGN : 17.24 BARG
OPERATING PRES. : 7 ~ 14 BARG
OPERATING TEMP. : 5 ~ 30 °C



CPO KONSORSIUM CPO			
CLIENT : PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA			
MAIN CONTRACTOR PT CITRA PANJI MANUNGAL			
WORK : FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG			
TITLE: LPG LOADING STORAGE TANK PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM			
SCALE	DRAWING No:	SHT	SIZE/REV
NTS	FTLSMG-30-DW-C007	1	A3 1

P-110 / P-120 / P-130 / P-140
LPG LOADING PUMPS

TYPE : CENTRIFUGAL
 FLOW RATE : 30 MT/H; MAX. 60 MT/H
 110 m³/h
 MAX PRESS. : 17.24 BARG
 RATED DISCHARGE PRES. : 205.65 PSig ~ 13.99 BARG



CPQ KONSORSIUM CPO CLIENT : PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA MAIN CONTRACTOR : PT CITRA PANJI MANUNGGA WORK : FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG TITLE : LPG LOADING PUMPS & FILLING POINT PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM			
SCALE	DRAWING No:	SHT	SIZE/REV
NTS	FTLSMG-30-DW-C007	1	A3 1

PSV
1002
SET @
17.24 BARG

FTLSMG-30DW-C008 SHEET 1 OF 3

FTLSMG-30DW-C008 SHEET 1 OF 3

PIT
1001

FTLSMG-30DW-C008 SHEET 1 OF 3

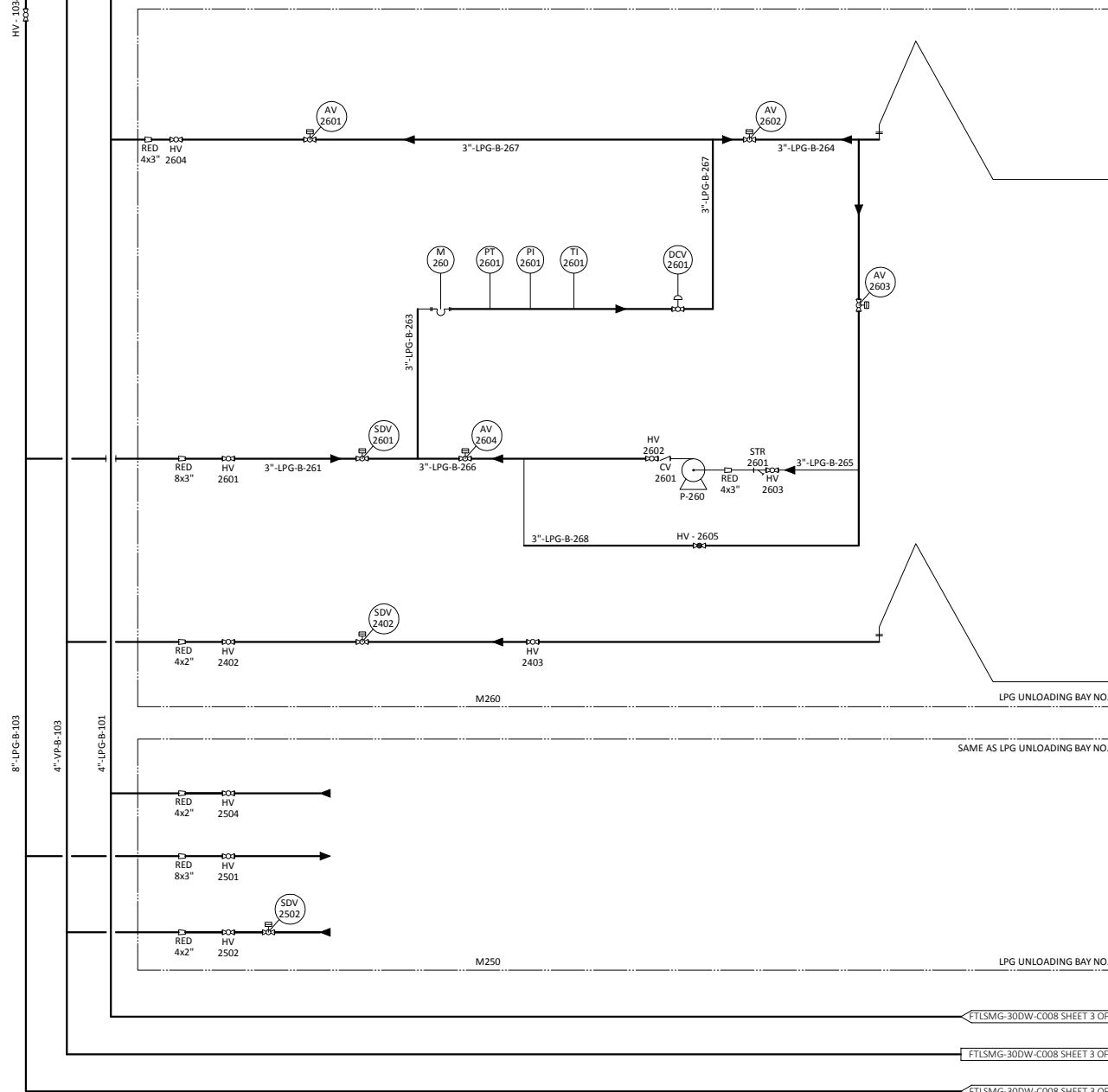
HV - 1034
HV - 1041
HV - 1011

M-250 / M-260 LPG UNLOADING SYSTEM

FLOW RATE / BAY : 15 MT/H;

LA-250A / LA-260A LIQUID LOADING ARM

LA-250B / LA-260B VAPOUR RETURN LOADING ARM



CPO KONSORSIUM CPO			
CLIENT : PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA			
MAIN CONTRACTOR : PT CITRA PANJI MANUNGGA			
WORK : FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG			
TITLE: LPG LOADING PUMPS & FILLING POINT PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM			
SCALE	DRAWING No:	SHT	SIZE/REV
NTS	FTLSMG-30-DW-C008	2	A3 1

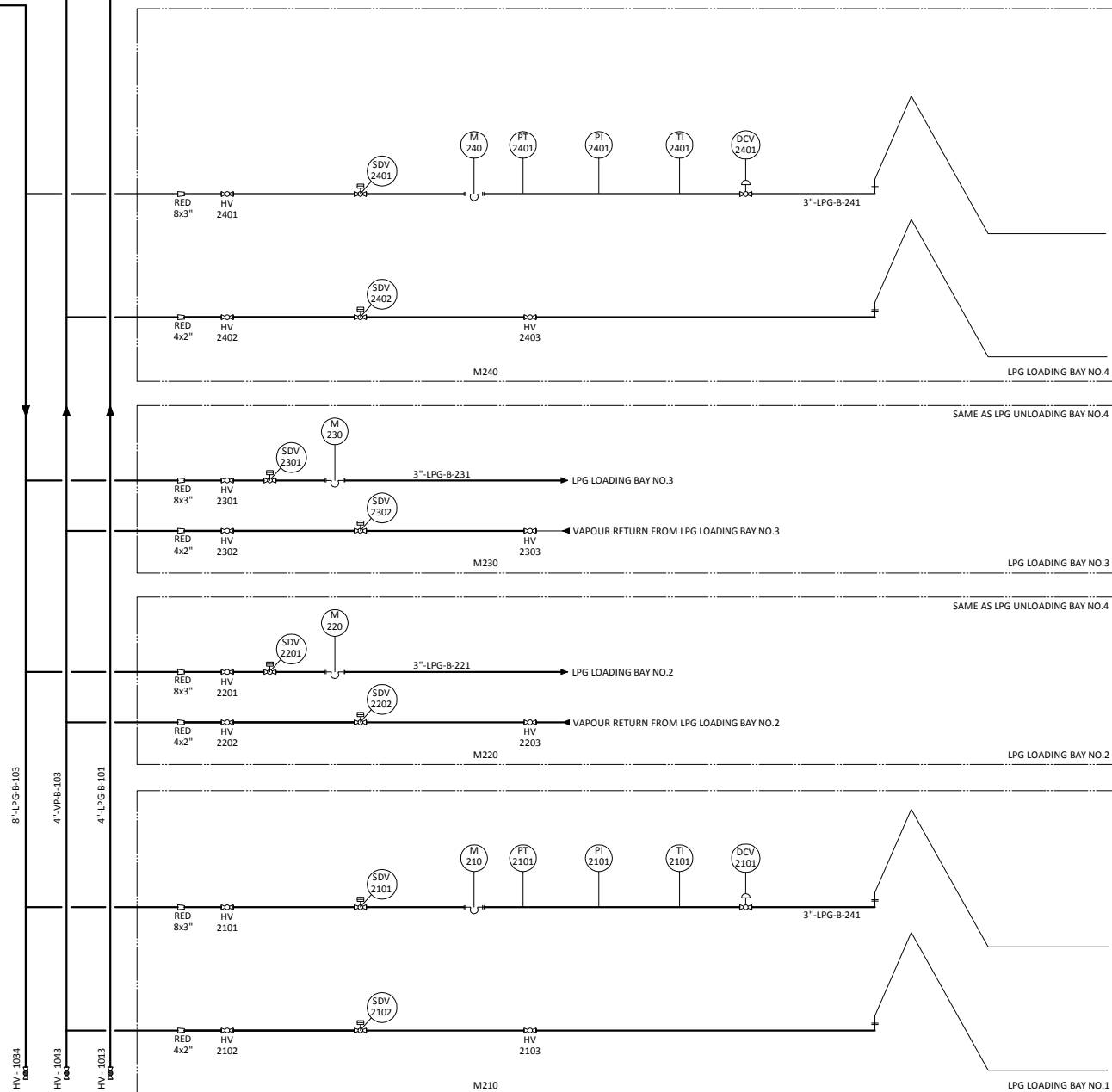
FTLSMG-30DW-C008 SHEET 2 OF 3

FTLSMG-30DW-C008 SHEET 2 OF 3

FTLSMG-30DW-C008 SHEET 2 OF 3

M-210 / M-220 / M-230 / M-240 LPG LOADING SYSTEM

FLOW RATE / BAY : 30 MT/H;
 OPER. PRESS. / TEMP. : 7 - 14 BARG @ 38 °C
 DESIGN PRES. / TEMP. : 17.24 BARG @ -10~55 °C



CPO KONSORSIUM CPO

CLIENT :
PT OPTIMA SINERGI COMVESTAMA

MAIN CONTRACTOR
PT CITRA PANJI MANUNGGA

WORK :
FASILITAS TERMINAL LPG SEMARANG

TITLE:
 LPG LOADING PUMPS & FILLING POINT
 PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM

SCALE	DRAWING No:	SHT	SIZE	REV
NTS	FTLSMG-30-DW-C008	3	A3	1

LAMPIRAN 3
DATA POMPA LPG
(Data Sheet, Performance Curve)

KSB INDONESIA

02.04.2009
CONTROLLED

CERTIFIED

Customer PT. CITRA PANJI MANUNGGAL
Project Semarang LPG Terminal Facilities Project
P.O.: 117-JKT-020
Consult -
Proposal
Item

Equipament: **CENTRIFUGAL PUMP**
KSB RPH Em 80-450

O.P. KSB:

Denomination:
PUMPS & ELECTRIC MOTOR DATA SHEET

Proposal ()
Information (**X**) 02.04.2009
Approval ()
Certificate ()
As Built ()

0	EMISSION	DW	DA	MM
Rev.	Modofic.	Exec.	Verif.	Approv.

Document number:



KSB-CPM-P0806154-004

For this drawing we reserve all rights.

Customer Code : 0896701000
PT KSB INDONESIA

JAKARTA
13910

Number: 5111013402
Pos-Nr.: 000200
Date: 21.01.2009
Page: 1 of 3

PO.NO: ID 31011471
PO.Item No:
Pump Description: RPH S5 80-450 WITH ACC

PO Date: 25.06.2008

Qty.: 2

Project And Pump Details

Project	SEMARANG LPG TERMINAL FACILITI	Pump Type	RPH
Indent no	10000282151	Pump Size	80-450
Customer code	896701000	Number Of Stages	01
Sales Quotation date	22.04.2008	Quantity	02
Item Number	P-110/120/130/140	Consultant	NONE
Plant	CITRA PANJI MANUNGGAL	Design According To	API 610 / 10'TH ED
Cust PO Date	06.04.2008	Application	LPG
Cust PO No	EMAIL	Pump Type & Size	RPH 80-450
		Revision No	01
		Revision Date	21.01.2009
		Pump Scope	PUMP+ACC WITHOUT MOTOR

Operating Data

Liquid Handled	LPG	Vapour Pressure (kg/cm2)	8.4
Operating Temperature (Deg C)	48.7	Suction Pressure (kg/cm2)	8.4 / 0
Specific Gravity	0.545	Pump Discharg Pressure(kg/cm2)	9.5/8.4
Kinematic Viscosity (cst)	0.32	Diff.Pressure (kg/cm2)	8.4
NPSHA (m)	9.7	Visc.Correction Factors : Kq	1
Rated Flow (m3/h)	110	Visc.Correction Factors : Kh	1
Rated Head (m)	174.3	Visc. Correction Factors : Kn	1
BKW (kW)	50.61	Water Duty : Q (m3/h)	110
Nominal Speed (rpm)	2900	Water Duty : H (m)	174.3
Reqd. Motor Rating (kW)	75	Water Duty : n (%)	57
Max BKW (kW)	58	Nominal Efficiency (%)	56.6
NPSHR (m)	4.9	effective speed (rpm)	2970
		Minimum Flow (m3/h)	30
		Shut Off Head (m)	200
		BEP Flow (m3/h)	110



CONTROLLED

Customer Code : 0896701000
PT KSB INDONESIA

JAKARTA
13910

Number: 5111013402
Pos-Nr.: 000200
Date: 21.01.2009
Page: 2 of 3

PO.NO. : ID 31011471
PO. Item No :
Pump Description : RPH S5 80-450 WITH ACC

PO Date : 25.06.2008
Qty.: 2

Pump Design

Pump Design	API 610 / 10'TH ED	Nozzle Suction Size/Position	100 / END
Casing Type	DOUBLE VOLUTE	Nozzle Suction Machining	ASME B16.5 CL 300 RF
Casing Support	CENTERLINE	Nozzle Disch. Size /Position	80 / TOP
Casing Connection	NPT	Nozzle Discharge Machining	ASME B16.5 CL 300 RF
Stuffing Box Type	NORMAL COOLED	Hydro Test Pr.Stage (kg/cm2)	63
Bearing Bracket Code	B05S	Perf.Curve No	QK34283
Bearing Bracket with	BEARING GUARD	Direction Of Rotation	CW
Bearing Lubrication	RING OIL	Rotation Remark	SEEN FROM DRIVE END
Shaft Seal	MECHANICAL SEAL	Imp - Dia -Design (mm)	430
API Seal Code	BTTFN	Imp - Dia -Actual (mm)	380
SealMake	BURGMANN/ FSL		
SealType	TANDEM		
Flushing 1 API Plan	11		
Flushing 1 Medium	PUMPING LIQUID		
Flushing 2 API Plan	52 + 61		
Flushing 2 Medium	B.L.		

Material

Volute Casing	A216 GR WCB	Impeller	A216 GR WCB
Casing Cover	A216 GR WCB	Shaft	A276 TY 410 H&T
Bearing Housing	A216 GR WCB	Shaft Protection Sleeve	AISI 316
		Throttle Bush	CARBON
		Wearing Ring	CHR HARD 400
		Impeller Ring	1.4024.19
		Casing Stud	A193 GR B7
		Casing Nut	A194 GR 2H
		Casing Gasket	SS SPIRAL WOUND
		Stuffing Box Housing	A216 GR WCB



CONTROLLED

Speed curve



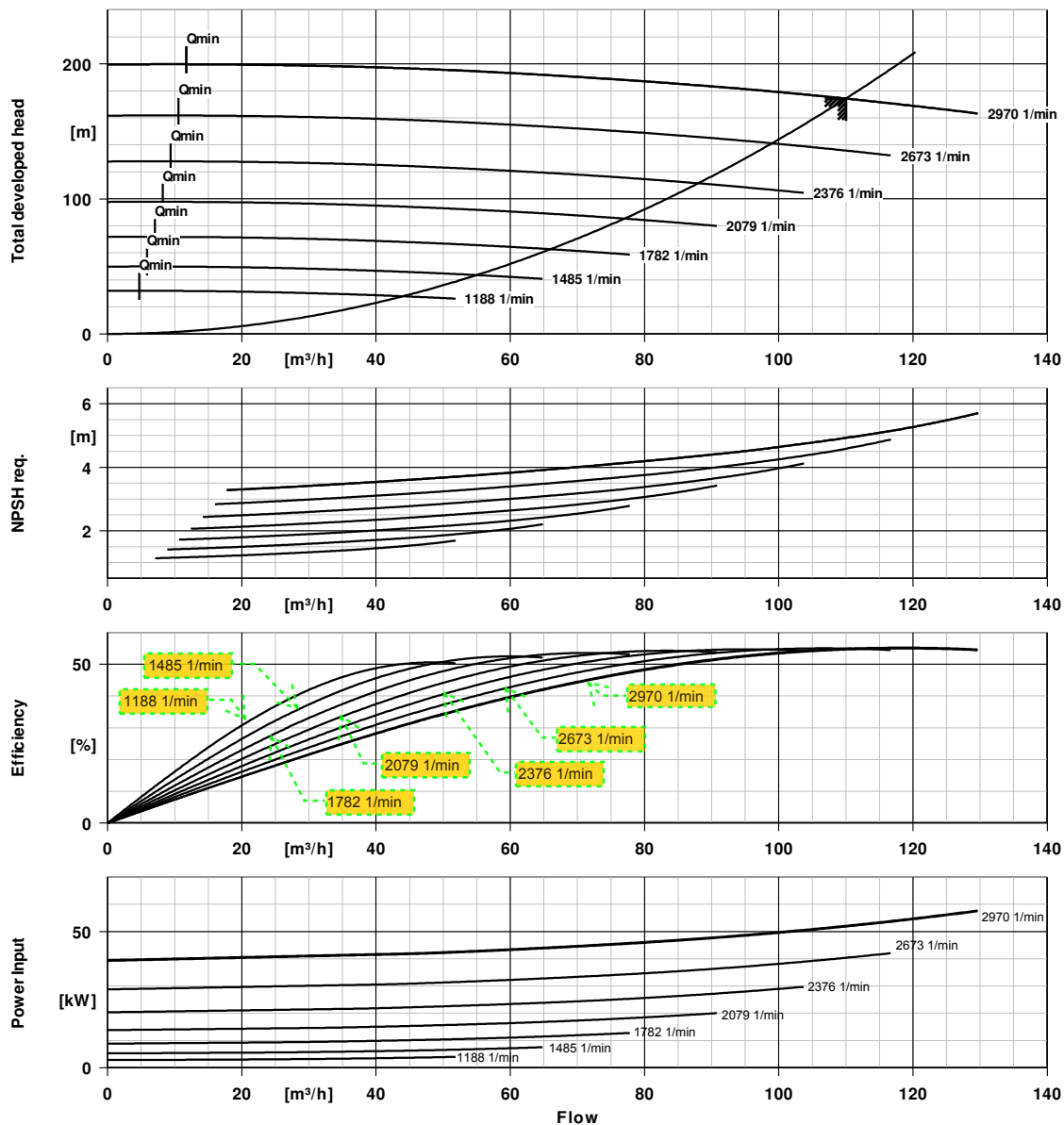
Customer item no.:
Communication dated: 28/03/2016
Doc. no.: Quick quote
Quantity: 1

Number: ES 7
Item no.:100
Date: 28/03/2016
Page: 1 / 1

RPH S5 080-450

Version no.: 1

Heavy Duty Centrifugal Pump to API 610 11th edition



Curve data

Fluid density 0.545 kg/dm^3
Viscosity 0.32 cst
Flow rate 110.00 m^3/h
Requested flow rate 110.00 m^3/h

Total developed head 174.29 m
Requested developed head 174.30 m
Impeller diameter 370 mm

LAMPIRAN 4
PEMBACAAN KURVA KARAKTERISTIK POMPA

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 100 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2970	1	0	199.4194	1	0	0
2	2970	2970	1	5	199.5249	1	5	25
3	2970	2970	1	10	199.6305	1	10	100
4	2970	2970	1	15	199.4722	1	15	225
5	2970	2970	1	20	199.3666	1	20	400
6	2970	2970	1	25	199.1027	1	25	625
7	2970	2970	1	30	198.6804	1	30	900
8	2970	2970	1	35	198.047	1	35	1225
9	2970	2970	1	40	197.4663	1	40	1600
10	2970	2970	1	45	196.6218	1	45	2025
11	2970	2970	1	50	195.4605	1	50	2500
12	2970	2970	1	55	194.3521	1	55	3025
13	2970	2970	1	60	193.1908	1	60	3600
14	2970	2970	1	65	191.7656	1	65	4225
15	2970	2970	1	70	190.2349	1	70	4900
16	2970	2970	1	75	188.7569	1	75	5625
17	2970	2970	1	80	186.9623	1	80	6400
18	2970	2970	1	85	185.2204	1	85	7225
19	2970	2970	1	90	183.2674	1	90	8100
20	2970	2970	1	95	181.3143	1	95	9025
21	2970	2970	1	100	178.9918	1	100	10000
22	2970	2970	1	105	176.4054	1	105	11025
23	2970	2970	1	110	174.3468	1	110	12100
24	2970	2970	1	115	171.4964	1	115	13225
25	2970	2970	1	120	168.6989	1	120	14400
26	2970	2970	1	125	165.9541	1	125	15625
27	2970	2970	1	130	162.5759	1	130	16900

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 95 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2821.5	1	0	180.5226	0.9025	0	0
2	2970	2821.5	1	5	180.6545	0.9025	4.75	25
3	2970	2821.5	1	10	180.7073	0.9025	9.5	100
4	2970	2821.5	1	15	180.549	0.9025	14.25	225
5	2970	2821.5	1	20	180.3378	0.9025	19	400
6	2970	2821.5	1	25	180.1267	0.9025	23.75	625
7	2970	2821.5	1	30	179.7044	0.9025	28.5	900
8	2970	2821.5	1	35	179.0446	0.9025	33.25	1225
9	2970	2821.5	1	40	178.3848	0.9025	38	1600
10	2970	2821.5	1	45	177.5402	0.9025	42.75	2025
11	2970	2821.5	1	50	176.4054	0.9025	47.5	2500
12	2970	2821.5	1	55	175.165	0.9025	52.25	3025
13	2970	2821.5	1	60	174.0829	0.9025	57	3600
14	2970	2821.5	1	65	172.6841	0.9025	61.75	4225
15	2970	2821.5	1	70	171.2589	0.9025	66.5	4900
16	2970	2821.5	1	75	169.6226	0.9025	71.25	5625
17	2970	2821.5	1	80	167.8543	0.9025	76	6400
18	2970	2821.5	1	85	166.1388	0.9025	80.75	7225
19	2970	2821.5	1	90	164.1594	0.9025	85.5	8100
20	2970	2821.5	1	95	162.1536	0.9025	90.25	9025
21	2970	2821.5	1	100	159.8575	0.9025	95	10000
22	2970	2821.5	1	105	157.3502	0.9025	99.75	11025
23	2970	2821.5	1	110	155.1069	0.9025	104.5	12100
24	2970	2821.5	1	115	152.3093	0.9025	109.25	13225
25	2970	2821.5	1	120	149.5117	0.9025	114	14400

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 90 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2673	1	0	161.6258	0.81	0	0
2	2970	2673	1	5	161.7841	0.81	4.5	25
3	2970	2673	1	10	161.7841	0.81	9	100
4	2970	2673	1	15	161.6258	0.81	13.5	225
5	2970	2673	1	20	161.3091	0.81	18	400
6	2970	2673	1	25	161.1507	0.81	22.5	625
7	2970	2673	1	30	160.7284	0.81	27	900
8	2970	2673	1	35	160.0422	0.81	31.5	1225
9	2970	2673	1	40	159.3032	0.81	36	1600
10	2970	2673	1	45	158.4587	0.81	40.5	2025
11	2970	2673	1	50	157.3502	0.81	45	2500
12	2970	2673	1	55	155.9778	0.81	49.5	3025
13	2970	2673	1	60	154.9749	0.81	54	3600
14	2970	2673	1	65	153.6025	0.81	58.5	4225
15	2970	2673	1	70	152.2829	0.81	63	4900
16	2970	2673	1	75	150.4883	0.81	67.5	5625
17	2970	2673	1	80	148.7464	0.81	72	6400
18	2970	2673	1	85	147.0573	0.81	76.5	7225
19	2970	2673	1	90	145.0515	0.81	81	8100
20	2970	2673	1	95	142.9929	0.81	85.5	9025
21	2970	2673	1	100	140.7231	0.81	90	10000
22	2970	2673	1	105	138.2951	0.81	94.5	11025
23	2970	2673	1	110	135.867	0.81	99	12100
24	2970	2673	1	115	133.1222	0.81	103.5	13225
25	2970	2673	1	120	130.3246	0.81	108	14400

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 85 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2524.5	1	0	144.6028	0.7225	0	0
2	2970	2524.5	1	5	144.8403	0.7225	4.25	25
3	2970	2524.5	1	10	144.8139	0.7225	8.5	100
4	2970	2524.5	1	15	144.6028	0.7225	12.75	225
5	2970	2524.5	1	20	144.2861	0.7225	17	400
6	2970	2524.5	1	25	144.1541	0.7225	21.25	625
7	2970	2524.5	1	30	143.6791	0.7225	25.5	900
8	2970	2524.5	1	35	143.0193	0.7225	29.75	1225
9	2970	2524.5	1	40	142.1747	0.7225	34	1600
10	2970	2524.5	1	45	141.3566	0.7225	38.25	2025
11	2970	2524.5	1	50	140.2745	0.7225	42.5	2500
12	2970	2524.5	1	55	138.9813	0.7225	46.75	3025
13	2970	2524.5	1	60	137.8728	0.7225	51	3600
14	2970	2524.5	1	65	136.5004	0.7225	55.25	4225
15	2970	2524.5	1	70	135.1544	0.7225	59.5	4900
16	2970	2524.5	1	75	133.4653	0.7225	63.75	5625
17	2970	2524.5	1	80	131.697	0.7225	68	6400
18	2970	2524.5	1	85	129.9551	0.7225	72.25	7225
19	2970	2524.5	1	90	127.9229	0.7225	76.5	8100
20	2970	2524.5	1	95	125.7852	0.7225	80.75	9025
21	2970	2524.5	1	100	123.4099	0.7225	85	10000
22	2970	2524.5	1	105	120.9554	0.7225	89.25	11025

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 80 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2376	1	0	127.5798	0.64	0	0
2	2970	2376	1	5	127.8965	0.64	4	25
3	2970	2376	1	10	127.8438	0.64	8	100
4	2970	2376	1	15	127.5798	0.64	12	225
5	2970	2376	1	20	127.2631	0.64	16	400
6	2970	2376	1	25	127.1576	0.64	20	625
7	2970	2376	1	30	126.6297	0.64	24	900
8	2970	2376	1	35	125.9963	0.64	28	1225
9	2970	2376	1	40	125.0462	0.64	32	1600
10	2970	2376	1	45	124.2544	0.64	36	2025
11	2970	2376	1	50	123.1987	0.64	40	2500
12	2970	2376	1	55	121.9847	0.64	44	3025
13	2970	2376	1	60	120.7707	0.64	48	3600
14	2970	2376	1	65	119.3983	0.64	52	4225
15	2970	2376	1	70	118.0259	0.64	56	4900
16	2970	2376	1	75	116.4423	0.64	60	5625
17	2970	2376	1	80	114.6477	0.64	64	6400
18	2970	2376	1	85	112.853	0.64	68	7225
19	2970	2376	1	90	110.7944	0.64	72	8100
20	2970	2376	1	95	108.5775	0.64	76	9025
21	2970	2376	1	100	106.0966	0.64	80	10000
22	2970	2376	1	105	103.6157	0.64	84	11025

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 75 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2227.5	1	0	112.5627	0.5625	0	0
2	2970	2227.5	1	5	112.8266	0.5625	3.75	25
3	2970	2227.5	1	10	112.8002	0.5625	7.5	100
4	2970	2227.5	1	15	112.5891	0.5625	11.25	225
5	2970	2227.5	1	20	112.3515	0.5625	15	400
6	2970	2227.5	1	25	112.0612	0.5625	18.75	625
7	2970	2227.5	1	30	111.5598	0.5625	22.5	900
8	2970	2227.5	1	35	110.9264	0.5625	26.25	1225
9	2970	2227.5	1	40	110.029	0.5625	30	1600
10	2970	2227.5	1	45	109.2109	0.5625	33.75	2025
11	2970	2227.5	1	50	108.1552	0.5625	37.5	2500
12	2970	2227.5	1	55	106.8884	0.5625	41.25	3025
13	2970	2227.5	1	60	105.7271	0.5625	45	3600
14	2970	2227.5	1	65	104.3547	0.5625	48.75	4225
15	2970	2227.5	1	70	102.9295	0.5625	52.5	4900
16	2970	2227.5	1	75	101.2404	0.5625	56.25	5625
17	2970	2227.5	1	80	99.52494	0.5625	60	6400
18	2970	2227.5	1	85	97.6511	0.5625	63.75	7225
19	2970	2227.5	1	90	95.53972	0.5625	67.5	8100

Pembacaan Kurva Karakteristik pompa – putaran 70 %

No	n _o (RPM)	n _i (RPM)	N	q _v (m ³ /h)	H (m)	X ₁	X ₂	X ₃
1	2970	2079	1	0	97.5455	0.49	0	0
2	2970	2079	1	5	97.7567	0.49	3.5	25
3	2970	2079	1	10	97.7567	0.49	7	100
4	2970	2079	1	15	97.5983	0.49	10.5	225
5	2970	2079	1	20	97.4400	0.49	14	400
6	2970	2079	1	25	96.9649	0.49	17.5	625
7	2970	2079	1	30	96.4898	0.49	21	900
8	2970	2079	1	35	95.8564	0.49	24.5	1225
9	2970	2079	1	40	95.0119	0.49	28	1600
10	2970	2079	1	45	94.1673	0.49	31.5	2025
11	2970	2079	1	50	93.1116	0.49	35	2500
12	2970	2079	1	55	91.7920	0.49	38.5	3025
13	2970	2079	1	60	90.6836	0.49	42	3600
14	2970	2079	1	65	89.3112	0.49	45.5	4225
15	2970	2079	1	70	87.8332	0.49	49	4900
16	2970	2079	1	75	86.0385	0.49	52.5	5625
17	2970	2079	1	80	84.4022	0.49	56	6400
18	2970	2079	1	85	82.4492	0.49	59.5	7225
19	2970	2079	1	90	80.2850	0.49	63	8100

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap hasil pemodelan dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 3 pompa menghasilkan performa yang paling optimum ketika dioperasikan pada putaran 100 % dan konfigurasi 2 pompa juga menghasilkan performa yang paling optimum ketika dioperasikan pada putaran 100 % dengan data sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data operasional konfigurasi optimum

Level Tangki	Q ₁ (m ³ /h)	H ₁ (m)	Q ₂ (m ³ /h)	Eff (%)	P _{in} (kW)	Q _{total} (m ³ /h)	Q _{total} (kg/min)	P _{total} (kW)	Eff System (%)
2 pompa – 100 %									
19 m	240,7	169,2	120,327	55,148	54,753	240,7	2186,3	109,5	56,29
12 m	236,1	170,4	118,130	55,132	54,098	236,3	2146,3	108,2	56,33
5 m	231,4	171,7	115,698	55,094	53,365	231,4	2101,8	106,7	56,35
3 pompa – 100 %									
19 m	343,7	172,2	114,748	55,078	53,181	344,2	3126,4	159,5	56,249
12 m	337,1	173,4	112,432	55,063	52,579	337,3	3063,7	157,7	56,134
5 m	330,3	174,5	110,261	54,940	52,002	330,8	3004,7	156	56,013

Sumber: Hasil Analisis, 2016

5.2. Saran

Untuk pengembangan tugas akhir ini, berikut saran – saran yang dapat dilakukan:

1. Variabel analisis pada penelitian selanjutnya dapat difokuskan terhadap berbagai macam sistem pengaturan (*control capacity*) pompa sentrifugal, sehingga dapat diketahui efeknya terhadap sistem penyaluran LPG.

2. Analisis terhadap sifat – sifat LPG perlu dilakukan guna meningkatkan keakuratan hasil penelitian pompa LPG, karena LPG merupakan fluida kritis.
3. Pada penelitian berikutnya dapat dibuatkan *software / interface* yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem penyaluran ini secara langsung dan lebih cepat.
4. Penelitian berikutnya dapat melakukan analisis kemampuan dan daya tahan *driver* (motor listrik) pompa terkait dengan pola operasi berdasarkan analisis operasional pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/API. 2010. ANSI/API 610 Eleventh Edition – Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries.
- ANSI/HI. 2010. ANSI/HI 9.6.7 - Effects of Liquid Viscosity on Rotodynamic (Centrifugal and Vertical) Pump Performance.
- Brook, Peter. 2005. LPG storage systems, atmospheric vs pressurized. Gastech
- Bernier, Michel A., Bernard Bourret. 1999. Pumping Energy and Variable Frequency Drives. ASHRAE Journal, hal 37 – 40.
- Centrifugal Pump Handbook. Winterthur: Sulzer Pumps Ltd
- Chowdhury, Niaz Bahar, “Pressure-Temperature Diagram Analysis of Liquefied Petroleum Gas and Inspection of Retrograde Phenomenon”, Advances in Pure and Applied Chemistry (APAC) - Vol. 1, No. 1, 2013, ISSN 2167-0854, hal. 106 -110, Bangladesh, 2013.
- Crease, Anthony B. 1996. The Control of Variable Speed Pumps on Parallel Operation. Proceeding of the Thirteenth International Pump Users Symposium, hal. 97 – 104.
- Elatabani, Enar Gasim Motwali. 2010. Boiling Liquid expanded Vapor explosion (BLEVE) of Petroleum Storage and Transportation Facilities. Case Study: Khartoum State. Sudan Academy of Science
- Good Practice Guide 249: Energy Savings in Industrial Water Pumping Systems, prepared by ETSU for the Department of Environment, Transport and Regions, US, September 1998.
- Garriboti, Eduardo. 2003. Termomeccanica Centrifugal Pump Handbook. La Spezia: Termomeccanica Pompe
- Kadaffi, Muhammar. 2011. Model 10 – Penerapan Untuk Simulasi. Jakarta: Universitas Mercu Buana

- Kojima, Masami. 2011. The Role of Liquefied Petroleum Gas in Reducing Energy Poverty. The World Bank
- KSB Pumps. 2014. RPH – Process Pump – Installation / Operating Manual.
- McCoy, Michael Monroe. 2007. Method for recovering LPG boil off gas using LNG as a heat transfer medium. US patents
- Molag, Menso, Johan Reinders & Stefan Elbers. 2007. Measures To Avoid A Hot Bleve Of A LPG Tank. IChemE SYMPOSIUM SERIES NO. 153.
- Koor, M., A. Vassiljev, T. Koppel. 2014. Optimal Pump Count Prediction Algorithm for Identical Pumps Working in Parallel Mode. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCW12013, hal. 951 - 958.
- Koor, M., A. Vassiljev, T. Koppel. 2015. Optimization of Pump Efficiencies with Different Pumps Characteristic Working in Parallel Mode. Advances in engineering Software 000, hal 1 – 8.
- Portland Energy Conservation, Inc. 2010. A Field Prespective: Centrifugal Pump Application and Optimization.
- Samvatsar, Abhishek, N. K. Jain, Praveen Patel. 2014. Analysis of BLEVE Mechanism and Anti BLEVE System in Pressurized Tank. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 3 Issue 1, January – 2014
- Sike, Hu, Jia Xuenjiang, Gao Huifen. 2012. Optimization of the Number of Multiple Pumps Running Simultaneously in Open Cycle Cooling Water System in PowerPlant. 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, hal 1161 – 1168.
- Sucita, Tasma, “Optimalisasi Pembelajaran Aplikasi Komputer Bidang Engineering Dengan Memanfaatkan Program ” APTEKINDO Seminar Internasional, ISSN 1907-2066, hal. 385 – 393, Bandung, 2010

- Tianyi, Z., Jili, Z., L. Ma. "On-line optimization control method based on extreme value analysis for parallel variable-frequency hydraulic pumps in central air-conditioning systems". Elsevier - Building and Environment 47. 2012
- Wijaya, Yoggy Purwohadi. 2015. Pump Performance Analysis Based On Conversion Variation Of Fluid Properties And Configuration Of The Pump Arrangement on Pertamina 17500 LTDW Oil tanker. Surabaya: ITS
- https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas
- <http://www.elgas.com.au/blog/453-the-science-a-properties-of-lpg>
- <http://www.elgas.com.au/blog/404-home-lpg-gas-regulators-and-fittings>
- <http://www.elgas.com.au/blog/455-lpg-gas-supply-chain>
- www.pumpsystemsmatter.org - Case Studies, from various sources, published by Pump Systems Matter.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Trenggalek, 12 Februari 1994 dan merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Abdul Hofur dan Ibu Siti Saudah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Mekar Siwi Munjungan, SDN 02 Munjungan, MTSN 1 Munjungan, dan merantau ke Surabaya melanjutkan ke SMKN 3 Surabaya, terakhir

terdaftar di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS dengan NRP 4212 100 067 melalui jalur tes tulis dan mendapatkan beasiswa Bidikmisi DIKTI selama perkuliahan.

Selama masa perkuliahan penulis pernah bergabung dalam kerja praktek dengan Terminal LPG Semarang dan juga bergabung dalam beberapa organisasi diantaranya Ketua BIMITS tahun 2014/2015, Wakil Ketua Klub Keilmiah ITS tahun 2013/2014, dan Staff Departemen Ristek di HIMASISKAL ITS tahun 2013/2014.

Penulis juga menjadi salah satu junior engineer dan bergabung dengan Office EPC-LPPM ITS Surabaya dan aktif dalam acara perlombaan Karya Tulis Ilmiah dengan berhasil mendapatkan pembiayaan dana dari DIKTI dan juga penghargaan untuk *best prototype* Karya tulis ilmiah di UNDIP Semarang, selain itu penulis senantiasa mengikuti kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan dari berbagai kegiatan yang diselenggarakan oleh institut maupun luar institut. Penulis dapat dihubungi melalui email muh.abdulrokim@gmail.com.